

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2005年9月22日 (22.09.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/088876 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H04B 10/04, 10/06, 10/142, 10/152  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/004817  
(22) 国際出願日: 2005年3月17日 (17.03.2005)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2004-076746 2004年3月17日 (17.03.2004) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 Tokyo (JP).

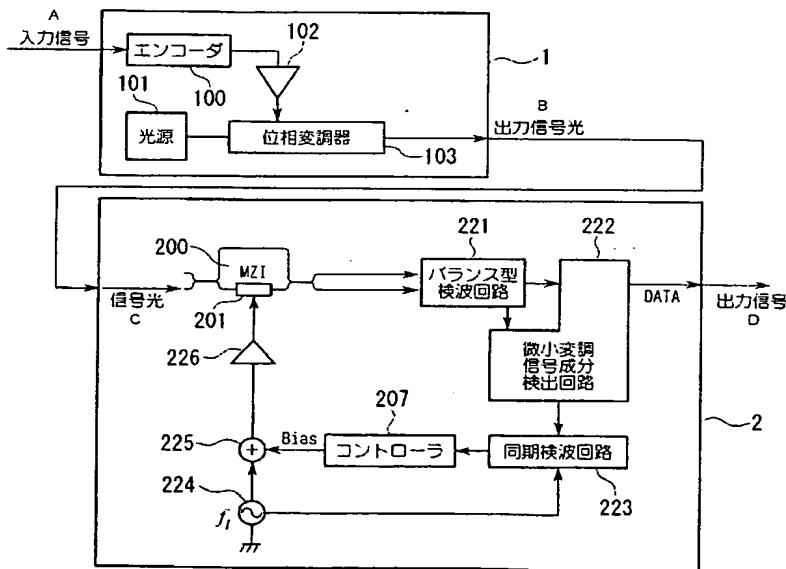
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 米永 一茂 (YONENAGA, Kazushige) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 米山 幹夫 (YONEYAMA, Mikio) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 富沢 将人 (TOMIZAWA, Masahito) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 平野 章 (HIRANO, Akira) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 桑原 昭一郎 (KUWAHARA, Shoichiro) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 片岡 智由 (KATAOKA, Tomoyoshi) [JP/JP]; 〒

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM, OPTICAL TRANSMISSION DEVICE AND OPTICAL RECEPTION DEVICE OF OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光伝送システム、光伝送システムの光送信装置及び光受信装置



- A INPUT SIGNAL  
100 ENCODER  
101 LIGHT SOURCE  
102 PHASE MODULATOR  
B OUTPUT SIGNAL LIGHT  
C SIGNAL LIGHT  
221 BALANCE TYPE DETECTION CIRCUIT  
222 MINUTE MODULATION SIGNAL COMPONENT DETECTION CIRCUIT  
207 CONTROLLER  
223 SYNCHRONOUS DETECTION CIRCUIT  
D OUTPUT SIGNAL

(57) Abstract: There is provided an optical transmission system capable of setting an optimal operation point of a Mach-Zender interferometer matched with the optical frequency of a light source of a transmission side. A light reception device (2) includes: a minute modulation signal component detection circuit (222) for using a signal sequence outputted from a balance type detection circuit (221) to detect a minute modulation signal component applied to a phase adjustment terminal (201) of the MZI (200) by a minute modulation signal oscillation circuit (224); a synchronous detection circuit (223) for synchronously detecting a minute modulation signal outputted from the minute modulation signal detection circuit (222) and a minute modulation signal oscillation circuit (224) and detecting a difference signal component generated by a difference in the optical frequency characteristics between an optical signal carrier frequency and the MZI (200); and a controller (207) for outputting a control signal for adjusting the phase difference of the signal light branched into two parts from the MZI (200) so as to correct the difference.

(57) 要約: 送信側の光源の光周波数に合致した、マッハツェンダ干渉計の最適な動作点に設定することができる光伝送システムを提供する。光受信装置 (2) は、バランス型検波回路 (221) から

[続葉有]



1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 佐野 明秀 (SANO, Akihide) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 松津 玄太郎 (FUNATSU, Gentaro) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 志賀 正武 (SHIGA, Masatake); 〒1048453 東京都中央区八重洲2丁目3番1号 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

出力される信号列を用いて、微小変調信号発振回路(224)がMZI(200)の位相調整端子(201)に印加する微小変調信号成分を検出する微小変調信号成分検出回路(222)と、微小変調信号検出回路(222)及び微小変調信号発振回路(224)から出力される微小変調信号を同期検波して、光信号キャリア周波数とMZI(200)の光周波数特性のずれから生じる誤差信号成分を検出する同期検波回路(223)と、ずれ量を修正するようにMZI(200)から2分岐された信号光の位相差を調整するための制御信号を出力するコントローラ(207)とを有する。

## 明 細 書

光伝送システム、光伝送システムの光送信装置及び光受信装置

技術分野

[0001] 本発明は、DPSK-DD方式を適用した光伝送システム、該光伝送システムの光送信装置及び光受信装置に関する。

本願は、2004年3月17日に出願された特願2004-76746号に対し優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 光伝送システムは、ブロードバンド時代の到来によりますます大容量化が求められるようになってきている。波長多重技術(WDM技術)により比較的容易に大容量化が可能となりつつあるが、一波長あたりのビットレート的高速化も盛んに研究されている。その理由は、一波長あたりのビットレートを高速化することで、装置コストを低減し、装置を小型化、低消費電力化できることにより、システムトータルのイニシャルコスト、ランニングコストを低減できることにある。

[0003] すでに、40Gbit/s/CHを実現する電気回路は実用段階にある。このような高速の光信号をWDM伝送する場合には、波長分散による伝送可能距離制限、ファイバの非線形性によるファイバへの入力パワー制限などが問題となっている。特に、ファイバの非線形性への対応として近年差動位相シフトキーイング-直接検波方式(DPSK-DD方式)の検討が盛んになってきている。

[0004] また、より非線形耐性を持つRZ(Return-to-Zero)-DPSK方式やCS(Carrier Suppressed)RZ-DPSK方式を用いたWDM伝送技術が検討されている。入力パワー制限には、従来光伝送システムでよく用いられてきたNRZ符号(Non-Return-Zero符号)と比較するとRZ符号が耐力を有しているといわれている。

[0005] DPSK-DD方式(RZ-DPSK, CSRZ-DPSKなどのRZ系のDPSK-DD方式を含む)では、受信装置にて位相変調信号をマッハツェンダ干渉計などの復調器を用いて強度変調符号に変換してから受光器で直接検波する。このときダブルバランスドレシーバを用いることで差動受光が可能となり、識別感度が、強度変調信号をひとつ

の受光器で直接検波した場合に比べて3dB改善されることから、受光器にはダブルバランスドレシーバが用いられることが一般的である。

[0006] さてマッハツェンダ干渉計を用いて位相変調信号を強度変調信号に復調するためには、マッハツェンダ干渉計の2つの経路の経路差を、信号光波長の変動に追従して波長レベルで制御しなくてはならない。これらを制御するための方法には、たとえば、特許文献1にて説明されているように、バランス型受光器の出力レベルを検出して一定の出力が得られるように、干渉計の一方のアームに設けた位相シフターを制御する方法がある。

[0007] マッハツェンダ干渉計としては、PLC (Planar Lightwave Circuit) 上に生成した光導波路タイプのものが市販されている。経路差の制御方法としては、基板の温度を制御する(通過帯域変化量:1.4GHz/°C)か、両アームに付けられたヒータを加熱して(位相変化量:1.33  $\pi$  /W)制御することができる。

特許文献1:特開昭63-52530号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、特開昭63-52530号公報、「コヒーレント光通信用の受信器」にて説明されている方法では、位相シフターの最適点が検出信号レベルの最大値であるため、信号光波長と干渉計の通過帯域のずれの絶対値は検出できても、ずれの方向は検出できない。これが従来の技術の一つ目の課題である。

[0009] WDM伝送システムに適用する場合には、WDMの波長間隔と、マッハツェンダ干渉計の繰り返し周波数が一般には一致しないため、マッハツェンダ干渉計の行路差を制御しなくてはならない。(これを周波数軸で表現すれば、マッハツェンダ干渉計の通過帯域波長を制御しなくてはならない。)信号速度が高速になると制御範囲が広がる。たとえば、40Gbit/sの信号であれば、マッハツェンダ干渉計の繰り返し周波数は40GHzとなるので、発振波長とマッハツェンダ干渉計の通過帯域との差は最大で20GHzとなる。マッハツェンダ干渉計がPLCであり、通過帯域の制御を基板温度で行うならば、約15°C変更しなくてはならないことになり、大きな消費電力を必要とする。これが2つ目の課題である。

[0010] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、送信側の光源の光周波数に合致した、マッハツェンダ干渉計の最適な動作点に設定することができる光伝送システム、光伝送システムの光送信装置及び光受信装置を提供することを目的とする。  
課題を解決するための手段

[0011] 上記目的を達成するために、本発明の光伝送システムは、差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光して復調する光受信装置とを備え、前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅  $\Delta \phi$  を  $0 \leq \Delta \phi \leq \pi$  の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有し、前記光受信装置は、受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉する両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、該マッハツェンダ干渉計における2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型検波回路と、前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に周波数  $f_1$  の第1の低周波信号を印加する低周波信号発生回路と、前記バランス型検波回路から供給される信号から第2の低周波信号を検出する微小変調信号成分検出回路と、前記微小変調信号成分検出回路から出力される前記第2の低周波信号を前記低周波信号発生回路から出力される前記第1の低周波信号で同期検波することにより、前記光送信装置から出力される前記位相変調光の中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知する同期検波回路と、前記ずれ量を修正するように前記2分岐された信号光の位相差を調整するための制御信号を出力する制御回路と、前記制御信号に基づいて前記位相調整端子を駆動するドライバ回路と、を有する。

[0012] 本発明の光伝送システムにおいて、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号を分岐した信号のアイ開口をモニタした信号を出力するアイ開口モニタ回路と、前記アイ開口モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方

向を検知するようにしても良い。

[0013] 本発明の光伝送システムにおいて、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するとともにその内部に符号誤り検出機能を備えたデータ再生回路と、前記データ再生回路から出力される誤り検出数情報をモニタした信号を出力する誤り検出数モニタ回路と、前記誤り検出数モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0014] 本発明の光伝送システムにおいて、前記バランス型検波回路は等化増幅回路を有し、前記微小変調信号成分検出回路は、前記等化増幅回路の消費電流をモニタした信号を出力する消費電流モニタ回路と、前記消費電流モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0015] 本発明の光伝送システムにおいて、前記バランス型検波回路は、前記マッハツェンダ干渉計の前記2つの出力ポートをそれぞれ2つに分岐する光分岐手段と、該光分岐手段で分岐された2つの光を干渉させる光結合手段と、該光結合手段から出力された光信号を電気信号に変換する光検波手段とを有し、前記微小変調信号成分検出回路は、前記光検波手段から出力される前記電気信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0016] 本発明の光伝送システムにおいて、前記マッハツェンダ干渉計のフリースペクトルレンジが主信号のクロックレートから若干シフトしており、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成している一方のフォトディテクタの光電流を増幅する第1の増幅器と、該第1の増幅器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出する帯域通過フィルタを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

- [0017] 本発明の光伝送システムにおいて、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成する他方のフォトディテクタの光電流を増幅する第2の増幅器と、前記第1の増幅器の出力と前記第2の増幅器の出力の差を出力する減算器とをさらに有し、前記帯域通過フィルタは、該減算器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出するようにしても良い。
- [0018] 本発明の光伝送システムにおいて、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号列からクロックを抽出するクロック抽出回路と、前記クロック抽出回路から出力されるクロック信号に重畳された前記第2の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路とを有し、前記同期検波回路は、前記低周波信号抽出回路から出力される前記第2の低周波信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。
- [0019] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光送信装置は、信号ビットレートと同一のクロック信号を生成するクロック信号生成回路と、該クロック信号生成回路より出力されるクロック信号で前記位相変調光の強度変調を行う強度変調器とを有し、前記バランス型検波回路は、前記マッハツェンダ干渉計における前記2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路と、該光分岐回路に接続されたモニタ用受光器とを有し、前記微小変調信号成分検出回路は、前記モニタ用受光器から出力される強度変調光から前記第2の低周波信号が重畳されたクロックを抽出する狭帯域アンプと、抽出されたクロックから前記第2の低周波信号を抽出する電力検出回路を有し、前記同期検波回路は、前記電力検出回路の出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。
- [0020] 本発明の光伝送システムにおいて、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路と、前記データ再生回路の出力信号と識別前の信号との相関を検出する相関検出回路と、前記相関検出回路の出力から前記第2の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路とを有するようにしても良い。
- [0021] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光伝送システムは、前記周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さの周波数 $f_2$ の信号により前記位相変調光を強度

変調する強度変調手段と、前記周波数 $f_2$ の強度変調成分を検出する強度変調成分検出手段とを有し、前記微小変調信号成分検出回路は、検出された前記周波数 $f_2$ の前記強度変調成分に重畳されている周波数 $f_1$ の前記第2の低周波信号を抽出するようにしても良い。

[0022] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光送信装置は、前記強度変調手段として、前記周波数 $f_2$ の信号を生成して前記光送信装置の光源を直接強度変調する発振回路を有するようにしても良い。

[0023] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光受信装置は、前記強度変調手段として、前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、該発振回路の出力信号で信号光を強度変調する強度変調器と、を有するようにしても良い。

[0024] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光受信装置は、前記強度変調手段として、前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、該発振回路に接続された光増幅器とを具備し、該光増幅器の利得を前記発振回路により前記周波数 $f_2$ で変調するようにしても良い。

[0025] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、前記マッハツェンダ干渉計における前記2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路と、該光分岐回路に接続されたモニタ用受光器と、該モニタ用受光器から出力される強度変調光から前記周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有するようにしても良い。

[0026] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、前記バランス型検波回路に入力する前記変換された強度変調光の入力レベルを非対称にする入力レベル調整手段と、前記バランス型検波回路の出力信号から前記周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有するようにしても良い。

[0027] 本発明の光伝送システムにおいて、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路を有し、前記光受信装置は、さらに、前記データ再生回路の出力信号の論理を反転させて出力する論理反転回路と、前記データ再生回路の出力と前記論理反転回路の出力のいずれかを所定の論理指定信号に応じて選択的に出力する選択手段と、前記論理反



転回路の出力が選択されたときに前記制御回路内の帰還誤差信号の極性を反転させる極性選択手段とを有し、前記光送信装置から出力される前記位相変調光の前記中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の前記通過帯域波長とのずれの補正量を、前記マッハツェンダ干渉計の繰り返し周波数の $1/2$ 以下とするようにしても良い。

[0028] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光受信装置は、さらに、前記マッハツェンダ干渉計の基板温度の状態を検出する温度検出回路と、該マッハツェンダ干渉計への帰還制御をON/OFFするループ開閉スイッチとを有し、前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が適正範囲にない場合は前記帰還制御を行うループを開き、前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が前記適正範囲にある場合は前記ループを閉じて前記帰還制御を行うようにしても良い。

[0029] 本発明の光伝送システムにおいて、前記制御回路は、さらに、前記マッハツェンダ干渉計への帰還制御を行うループのロック状態を検出するロック検出回路と、前記ロック状態が前記ループのロックが外れたことを示しているときに前記ロック状態への再引き込みを行う再引き込み回路とを有し、前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出しているときは通常の帰還制御を行い、前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出していないときは前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に印加される駆動信号を掃引し、前記ロック検出回路が再びロック状態を検出したならば前記通常の帰還制御を行う状態に切り替えるようにしても良い。

[0030] 本発明の光伝送システムにおいて、前記マッハツェンダ干渉計は独立した2つの位相調整端子を具備し、前記2つの位相調整端子の一方に前記微小変調信号発振回路の出力を印加し、前記2つの位相調整端子の他方に前記制御回路内の帰還誤差信号を印加するようにしても良い。

[0031] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光受信装置は、前記バランス型検波回路により検波された受信信号光から、光キャリア周波数と前記マッハツェンダ干渉計の光周波数特性との相対的な位置を検出する光キャリア周波数検出手段と、前記制御回路内の帰還誤差信号にオフセットを与えるオフセット設定回路とを有し、前記光キャリア周波数の位置と前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性のピークまたはボトム的位置とを合わせるように前記オフセット設定回路のオフセット値を調整する

ようにしても良い。

[0032] 本発明の光伝送システムにおいて、前記光送信装置は、主信号の変調をON/OFFする変調状態制御手段と、前記主信号の回線とは別に設けられた制御用回線を使って前記光受信装置と通信する第1の制御信号通信手段とを有し、前記光受信装置は、前記バランス型検波回路により検波された受信信号光から、光キャリア周波数と前記マッハツェンダ干渉計の光周波数特性との相対的な位置を検出する光キャリア周波数検出手段と、前記制御回路内の帰還誤差信号にオフセットを与えるオフセット設定回路と、前記制御用回線を使って前記光送信装置と通信する第2の制御信号通信手段とを有し、前記光伝送システム起動時に、前記光送信装置は、前記変調状態制御手段により前記主信号の変調をOFFにして光キャリアのみを送信し、前記光受信装置は、前記光キャリア周波数検出手段により前記光送信装置から送られた前記光キャリアの周波数と、前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性との相対的な位置を検出して、前記光キャリア周波数の位置と前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性のピークまたはボトムの位置とを合わせるように前記オフセット設定回路の前記オフセットを調整し、前記光受信装置はオフセット調整が完了したことを示す制御信号を前記第2の制御信号通信手段を使って前記光送信装置に伝え、前記光送信装置は該制御信号を受け取った後、前記主信号の変調をONにするようにしても良い。

[0033] 本発明の第1の態様による光送信装置は、差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光して復調する光受信装置とを備え、前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅 $\Delta\phi$ を $0 \leq \Delta\phi \leq \pi$ の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有し、前記光受信装置は、受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉した両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、該マッハツェンダ干渉計の2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型受光器とを有する光伝送システムの光送信

装置であって、前記光送信装置は、信号ビットレートと同一のクロック信号を生成するクロック信号生成回路と、該クロック信号生成回路より出力されるクロック信号で前記位相変調光の強度変調を行う強度変調器とを有する。

[0034] 本発明の第2の態様による光送信装置は、差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光して復調する光受信装置とを備え、前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅 $\Delta\phi$ を $0 \leq \Delta\phi \leq \pi$ の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有し、前記光受信装置は、受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉した両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、該マッハツェンダ干渉計の2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型受光器とを有する光伝送システムの光送信装置であって、前記光送信装置は、前記光送信装置の光源を直接強度変調する周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さの周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路を有する。

[0035] 本発明の光受信装置は、差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光して復調する光受信装置とを備え、前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅 $\Delta\phi$ を $0 \leq \Delta\phi \leq \pi$ の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有する光伝送システムの光受信装置であって、前記光受信装置は、受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉する両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、該マッハツェンダ干渉計における2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型検波回路と、前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に周波数 $f_1$ の第1の低周波信号を印加する低周波信号発生回路と、前記バランス型検波回路から供給される信号から

第2の低周波信号を検出する微小変調信号成分検出回路と、前記微小変調信号成分検出回路から出力される前記第2の低周波信号を前記低周波信号発生回路から出力される前記第1の低周波信号で同期検波することにより、前記光送信装置から出力される前記位相変調光の中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知する同期検波回路と、前記ずれ量を修正するように前記2分岐された信号光の位相差を調整するための制御信号を出力する制御回路と、前記制御信号に基づいて前記位相調整端子を駆動するドライバ回路と、を有する。

[0036] 本発明の光受信装置において、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号を分岐した信号のアイ開口をモニタした信号を出力するアイ開口モニタ回路と、前記アイ開口モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0037] 本発明の光受信装置において、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するとともにその内部に符号誤り検出機能を備えたデータ再生回路と、前記データ再生回路から出力される誤り検出数情報をモニタした信号を出力する誤り検出数モニタ回路と、前記誤り検出数モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0038] 本発明の光受信装置において、前記バランス型検波回路は等化増幅回路を有し、前記微小変調信号成分検出回路は、前記等化増幅回路の消費電流をモニタした信号を出力する消費電流モニタ回路と、前記消費電流モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0039] 本発明の光受信装置において、前記バランス型検波回路は、前記マッハツェンダ

干渉計の前記2つの出力ポートをそれぞれ2つに分岐する光分岐手段と、該光分岐手段で分岐された2つの光を干渉させる光結合手段と、該光結合手段から出力された光信号を電気信号に変換する光検波手段とを有し、前記微小変調信号成分検出回路は、前記光検波手段から出力される前記電気信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0040] 本発明の光受信装置において、前記マッハツェンダ干渉計のフリースペクトルレンジが主信号のクロックレートから若干シフトしており、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成している一方のフォトディテクタの光電流を増幅する第1の増幅器と、該第1の増幅器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出する帯域通過フィルタを有し、前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0041] 本発明の光受信装置において、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成する他方のフォトディテクタの光電流を増幅する第2の増幅器と、前記第1の増幅器の出力と前記第2の増幅器の出力の差を出力する減算器とをさらに有し、前記帯域通過フィルタは、該減算器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出するようにしても良い。

[0042] 本発明の光受信装置において、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号列からクロックを抽出するクロック抽出回路と、前記クロック抽出回路から出力されるクロック信号に重畳された前記第2の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路とを有し、前記同期検波回路は、前記低周波信号抽出回路から出力される前記第2の低周波信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知するようにしても良い。

[0043] 本発明の光受信装置において、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路と、前記データ再生回路の出力信号と識別前の信号との相関を検出する相関検出回路と、前記相関検出回路の出力から前記第2の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路と

を有するようにしても良い。

- [0044] 本発明の光受信装置において、前記周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さの周波数 $f_2$ の信号により前記位相変調光を強度変調する強度変調手段と、前記周波数 $f_2$ の強度変調成分を検出する強度変調成分検出手段とを有し、前記微小変調信号成分検出回路は、検出された前記周波数 $f_2$ の前記強度変調成分に重畳されている周波数 $f_1$ の前記第2の低周波信号を抽出するようにしても良い。
- [0045] 本発明の光受信装置において、前記光受信装置は、前記強度変調手段として、前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、該発振回路の出力信号で信号光を強度変調する強度変調器と、を有するようにしても良い。
- [0046] 本発明の光受信装置において、前記光受信装置は、前記強度変調手段として、前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、該発振回路に接続された光増幅器とを具備し、該光増幅器の利得を前記発振回路により前記周波数 $f_2$ で変調するようにしても良い。
- [0047] 本発明の光受信装置において、前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、前記マッハツェンダ干渉計における前記2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路と、該光分岐回路に接続されたモニタ用受光器と、該モニタ用受光器から出力される強度変調光から周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有するようにしても良い。
- [0048] 本発明の光受信装置において、前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、前記バランス型検波回路に入力する前記変換された強度変調光の入力レベルを非対称にする入力レベル調整手段と、前記バランス型検波回路の出力信号から前記周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有するようにしても良い。
- [0049] 本発明の光受信装置において、前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路を有し、前記光受信装置は、さらに、前記データ再生回路の出力信号の論理を反転させて出力する論理反転回路と、前記データ再生回路の出力と前記論理反転回路の出力のいずれかを所定の論理指定信号に応じて選択的に出力する選択手段と、前記論理反転回路の出力が選択されたときに前記制御回路内の帰還誤差信号の極性を反転させ

る極性選択手段とを有し、前記光送信装置から出力される前記位相変調光の前記中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の前記通過帯域波長とのずれの補正量を、前記マッハツェンダ干渉計の繰り返し周波数の $1/2$ 以下とするようにしても良い。

[0050] 本発明の光受信装置において、前記マッハツェンダ干渉計の基板温度の状態を検出する温度検出回路と、該マッハツェンダ干渉計への帰還制御をON/OFFするループ開閉スイッチとを有し、前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が適正範囲にない場合は前記帰還制御を行うループを開き、前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が前記適正範囲にある場合は前記ループを閉じて前記帰還制御を行うようにしても良い。

[0051] 本発明の光受信装置において、前記制御回路は、さらに、前記マッハツェンダ干渉計への帰還制御を行うループのロック状態を検出するロック検出回路と、前記ロック状態が前記ループのロックが外れたことを示しているときに前記ロック状態への再引き込みを行う再引き込み回路とを有し、前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出しているときは通常の帰還制御を行い、前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出していないときは前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に印加される駆動信号を掃引し、前記ロック検出回路が再びロック状態を検出したならば前記通常の帰還制御状態を行う状態に切り替えるようにしても良い。

[0052] 本発明の光受信装置において、前記マッハツェンダ干渉計は独立した2つの位相調整端子を具備し、前記2つの位相調整端子の一方に前記微小変調信号発振回路の出力を印加し、前記2つの位相調整端子の他方に前記制御回路内の帰還誤差信号を印加するようにしても良い。

[0053] 本発明の光受信装置において、前記バランス型検波回路により検波された受信信号光から、光キャリア周波数と前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性との相対的な位置を検出する光キャリア周波数検出手段と、前記制御回路内の帰還誤差信号にオフセットを与えるオフセット設定回路とを有し、前記光キャリア周波数の位置と前記マッハツェンダ干渉計の光周波数特性のピークまたはボトム的位置とを合わせるように前記オフセット設定回路のオフセット値を調整するようにしても良い。

発明の効果

- [0054] 以上説明したように、本発明によれば、DPSK-DD方式の光伝送システムにおいて、光受信装置が具備するマッハツェンダ干渉計の2つのアームの信号光の位相差を一定の周波数で変調し、その周波数成分の位相を検出することで、送信側の光源の光周波数に合致した、マッハツェンダ干渉計の最適な動作点に設定することが可能で、最良の受光特性を得ることができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0055] [図1]本発明の第1実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図2]本発明の第2実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図3]本発明の第3実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図4]本発明の第4実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図5]本発明の第5実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図6]本発明の第6実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図7]本発明の第7実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図8]本発明の第8実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図9]本発明の第9実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
[図10A]マッハツェンダ干渉計の入出力特性を示す図である。  
[図10B]マッハツェンダ干渉計の入出力特性を示す図である。  
[図10C]マッハツェンダ干渉計の入出力特性を示す図である。  
[図10D]マッハツェンダ干渉計の入出力ポート及び2つのArmの関係を示す図である。  
。  
[図11]本発明に係る光伝送システムにおける光受信装置の基本構成を示すブロック図である。  
[図12]バランス型受光器出力の位相ずれ依存性を示す説明図である。  
[図13]本発明の第10実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
。  
[図14]本発明の第11実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
。  
[図15]本発明の第12実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である



。

[図16]本発明の第13実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

[図17]本発明の第14実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

[図18]マッハツェンダ干渉計のFSRシフトを示す図である。

[図19]マッハツェンダ干渉計のFSRシフト量と微小変調信号成分検出感度の関係を示す図である。

[図20]マッハツェンダ干渉計のFSRシフトによるアイ開口ペナルティを示す図である。

[図21]本発明の第15実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

[図22]本発明の第16実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

[図23]本発明の第17実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

[図24]再引き込み機能付制御回路の構成を示すブロック図である。

[図25]再引き込み機能付制御回路の三角波発生回路の動作を示す図である。

[図26]ロック検出回路の構成を示すブロック図である。

[図27]ロック検出回路と三角波発生回路の動作を示す図である。

[図28]本発明の第18実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

[図29]本発明の第19実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

[図30]本発明の第20実施形態に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である

。

## 符号の説明

[0056] 1…光送信装置 2…光受信装置 100…エンコーダ 101…光源 102…変調器  
駆動回路 103…位相変調器 105…クロック信号生成回路 106…発振回路 11

0…変調状態制御回路 111…制御信号通信回路 200…DPSK符号復調用MZI  
(マッハツェンダ干渉計) 201…位相調整端子 202…バランス型受光器 203…ア  
ンプ 204…データ再生回路 205…クロック抽出回路 207…コントローラ 209…  
論理反転回路 210…モニタ用受光器 211…狭帯域アンプ 212…差動回路 21  
3…フィルタ 214…アンプ 215…強度変調器 216…発振回路 217…光アンプ  
218…発振回路 219…光減衰器 220…光分岐回路 221…バランス型検波回  
路 222…微小変調信号成分検出回路 223…同期検波回路 224…微小変調信  
号発振回路 225…加算器 226…ドライバ 231…アイ開口モニタ回路 232…帯  
域通過フィルタ 241…誤り検出数モニタ回路 251…消費電流モニタ回路 252…  
トランスインピーダンス増幅器 253…リミッティング増幅器 254…抵抗 255…アン  
プ 261…光分岐回路 262…光分岐回路 263…光結合回路 264…フォトディテ  
クタ 265…増幅回路 271…抵抗 272…増幅回路 273…抵抗 274…減算器  
275…増幅回路 281…MZIウォームアップ検出回路 282…ループ開閉スイッチ  
284…ロック検出回路 285…ループ再引き込み機能付制御回路 286…MZI温度  
モニタ 287…コンパレータ 291…位相調整端子 292…微小変調動作点設定回  
路 293…ドライバ 294…MZIオフセット設定回路 295…光キャリア周波数検出  
回路 297…制御信号通信回路 2080…電力検出回路 2841…抵抗 2842…  
抵抗 2843…抵抗 2844…コンパレータ 2845…コンパレータ 2846…AND回  
路 2851…三角波発生回路 2852…増幅器 2853…加算器 2854…スイッチ  
2855…コンパレータ 2856…スイッチ 2857…積分回路 2858…抵抗 2859…  
抵抗 C1…コンデンサ

#### 発明を実施するための最良の形態

[0057] 以下、本発明の実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。ただし、本発明は  
以下に説明する各実施形態に限定されるものではなく、例えばこれら実施形態の構  
成要素同士を適宜組み合わせてもよい。

本発明の実施形態の説明に先立ち、図10Aから図10D、図11、及び図12を参照  
して本発明の原理を説明する。

[0058] 既述した一つ目の課題の解決にあたって、信号光の波長と干渉計の通過帯域のず

れの方角を検出するために、干渉計に設けた位相シフターに低周波信号を加え、この低周波信号のレベルもしくは位相を検出する。

[0059] 図10A～図10Cに位相変調光を強度変調光に変換するマツハツェンダ干渉計(以下MZIと記す。)の入出力特性を示す。図10Aは、Arm1, 2の光の位相差に対する出力port1, 2の光強度を示したものである。図10Aの上側が出力port2を示し、下側が出力port1を示している。図10B, 図10Cはそれぞれ入力portから出力port1, 2への透過率を入力光の周波数の関数として示したものである。図10Dに示されるように、MZI200の入力ポート(Port)から入力した位相変調光は、Arm(アーム)1とArm2に2分岐される。

[0060] 信号ビットレートに対応するタイムスロット分の遅延をArm2で与えられた後、両Armの光は干渉して、出力ポート(Port)から出力される。このときに、2つのArmの遅延差に出力ポートに出力される光強度は依存する。たとえば、出力ポート1では、位相差が0のときに、光強度は最大となり、位相差が $\pi$ もしくは、 $-\pi$ のときに最小となる。つまり位相変調光の位相が2タイムスロット連続して0のときに出力ポート1の出力強度は最小となり、連続した2タイムスロットが0、 $\pi$ もしくは $\pi$ 、0となったときに、出力強度は最大となる。

[0061] すなわち、この点がMZIの最適な動作点となる。ここで両アームの遅延差が、何らかの要因で位相差0からずれると、光強度の最小値は増加し、逆に最大値は減少する。これにより光受信装置の受光感度の劣化が発生する。

[0062] ところで、MZI200の入出力特性を周波数軸でみると、繰り返し周波数が信号ビットレートに等しいフィルタ特性を持つ。両Armの位相差が0で最大光強度となるように調整したときに、MZIの最大透過率を示す周波数が信号光の中心周波数と一致する。

[0063] 図11は、本発明に係る光伝送システムにおける光受信装置の基本構成を示している。同図において、光受信装置は、MZI200と、位相調整端子201と、バランス型検波回路221と、微小変調信号成分検出回路222と、同期検波回路223と、周波数 $f_1$ の低周波信号を発生する微小変調信号発振回路224と、加算器225を介して位相調整端子201にバイアス電圧を供給するコントローラ207とを有している。同期検波

回路223は、乗算器やミキサーなどの振幅と位相情報を検出する回路でもよいし、位相比較器や位相検出回路などの位相情報を検出する回路でもよい。

- [0064] バランス型検波回路221の出力信号は、図12に示すように、DPSK符号復調用MZI(以下、MZIと記す。)200の最適動作点で振幅が最大となる。MZI200の一方のArmに設けられた位相調整端子201に電圧(あるいは電流)を印加するとArm1とArm2の位相差は変化するので出力光の最小値と最大値は変化する。
- [0065] そこでこの位相調整端子201に微小変調信号発振回路224より周波数 $f_1$ の低周波信号を印加すると、MZI200の最適動作点(図中A)では、周波数 $f_1$ の2倍の速さで最大値、最小値は変動する。これがたとえば、位相差が $\Delta\phi_1$ だけ変化し図中Bの点にずれると、出力電圧振幅は減少するとともに、低周波 $f_1$ の信号が重畳されている。
- [0066] また、位相差が $\Delta\phi_2$ 変化して動作点がCにずれた場合にも同様に出力電圧振幅は減少し、周波数 $f_1$ の低周波信号が重畳されるが、B点と比較すると位相が反転していることがわかる。
- [0067] そこで、バランス型検波回路221の出力から、そこに重畳されている周波数 $f_1$ の低周波信号を微小変調信号成分検出回路222により抽出し、該低周波信号を、周波数 $f_1$ の低周波信号を位相調整端子201に印加する微小変調信号発振回路224から出力される低周波信号で、同期検波回路223によって同期検波することで動作点のずれ(周波数軸で考えると、送信側の光源の中心周波数とMZI200の通過帯域のずれにあたる)の方向を検出してMZI200の位相調整端子201に加える電圧(あるいは電流)を制御する。
- [0068] 既述した2つ目の課題を解決するために、受信した信号を微小変調信号成分検出回路222内の図示しない識別器の後段に設置した論理反転回路を用いて、必要に応じて信号の論理を反転することでMZIの通過帯域の変動量を従来の $1/2$ 以下とする。
- [0069] 図10A～図10Cでは、位相制御をしない初期状態で、MZIの動作点が $\pi$ の位置にあったとすると、MZIの基板の温度を調整するか、位相調整を行って、動作点を位相差が0の点にシフトさせる必要がある。ところが、MZIの両Armの出力の位相差が

$\pi$ の点を動作点に設定すればこの調整は不要となる。ただしこの場合には、出力される強度変調信号の論理が反転してしまう。そこでデータの識別再生後に信号の論理を再度反転させればもとの信号論理に戻ることになる。

[0070] [第1実施形態]

本発明の第1実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第1実施形態に係る光伝送システムの構成を図1に示す。同図において、光伝送システムは、差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置1と、光送信装置1より伝送された位相変調光を受光して復調する光受信装置2とを備えている。

[0071] 光送信装置1は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I(Inverted)符号の信号に変換するエンコーダ100と、光源101と、変調器駆動回路102と、エンコーダ100によって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅 $\Delta\phi$ を $0 \leq \Delta\phi \leq \pi$ の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器103とを有している。

[0072] 光受信装置2は、受信した光送信装置1からの位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉する両信号間の位相差を設定できる位相調整端子201を有するマッハツェンダ干渉計(DPSK符号復調用MZI)200と、該マッハツェンダ干渉計200の2出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型検波回路221とを有している。

[0073] さらに、光受信装置2は、微小変調信号成分検出回路222、同期検波回路223、コントローラ207、微小変調信号発振回路224、加算器225、ドライバ226を有している。

[0074] 微小変調信号成分検出回路222は、バランス型検波回路221から出力される信号を用いて、マッハツェンダ干渉計200の位相調整端子201に印加される微小変調信号(周波数 $f_1$ )成分を検出して同期検波回路223に出力するとともに、バランス型検波回路221の出力からデータを識別して再生し、識別再生されたデータを光受信装置2の出力信号として出力する。

[0075] 同期検波回路223は、微小変調信号成分検出回路222が検出した微小変調信号と微小変調信号発振回路224から直接入力される微小変調信号とを同期検波するこ

とにより、マッハツェンダ干渉計200を通過した光信号に重畳された微小変調信号成分の振幅と位相を検出する。ここで検出された振幅と位相は、光信号キャリア周波数とマッハツェンダ干渉計の光周波数特性のずれから生じる誤差信号成分であり、この振幅と位相の信号はコントローラ207(一般的には、ループフィルタ+PID制御)に供給される。

[0076] コントローラ207は、同期検波回路223から供給された信号に基づいて、上記ずれを修正するように2分岐された信号光の位相差を調整するための制御信号をバイアス信号として加算器225に出力する。加算器225は、バイアス信号に対して微小変調信号発振回路224から出力される微小変調信号を加算して、その加算信号をドライバ226に出力する。ドライバ226は加算信号に基づいてマッハツェンダ干渉計200の位相調整端子201を駆動する。帰還ループは、この誤差信号成分を0にするように働き、最終的にマッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークまたはボトムと光信号のキャリア周波数を一致させる。

[0077] [第2実施形態]

本発明の第2実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第2実施形態に係る光伝送システムの構成を図2に示す。本実施形態の光伝送システムが第1実施形態の光伝送システムと異なる点は、バランス型検波回路221がバランス型受光器202及びアンプ203により構成されていること、微小変調信号成分検出回路222により構成される回路の具体例としてデータ再生回路204、クロック抽出回路205及び電力検出回路2080により構成される回路を有していることである。その他の構成は第1実施形態の光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付している。なお、図2では図1に示したドライバ226の図示を省略している。

[0078] すなわち、光受信装置2は、バランス型受光器202と、バランス型受光器202から出力される信号を増幅するアンプ203と、アンプ203の出力からデータを識別し、再生するデータ再生回路204と、アンプ203を介してバランス型受光器202から出力される信号列からクロックを抽出するクロック抽出回路205と、MZI200の位相調整端子201に周波数 $f_1$ の低周波信号を印加する微小変調信号発振回路224と、クロック抽出回路205から出力されるクロック信号のパワーを検出することでクロック信号に重

畳された周波数 $f_1$ の低周波信号を抽出する電力検出回路2080と、電力検出回路2080から出力される周波数 $f_1$ の低周波信号と微小変調信号発振回路224から出力される周波数 $f_1$ の低周波信号の位相を比較して光送信装置1から出力される位相変調光の中心波長とMZI200の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知する同期検波回路223と、前記ずれ量を修正するように前記2分岐された信号光の位相差を調整するための制御信号を加算器225に出力するコントローラ207と、微小変調信号発振回路224の出力とコントローラ207の出力を加算して位相調整端子201に印加する加算器225とを有する。

[0079] クロック抽出回路205は、信号に含有されるクロック成分電力に比例したクロック電力となるように線形抽出である必要がある。

[0080] [第3実施形態]

本発明の第3実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第3実施形態に係る光伝送システムの構成を図3に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第2実施形態に係る光伝送システムと構成上、異なるのは、光受信装置2のデータ再生回路204の後段に、外部から入力される論理指定信号により信号の論理反転を行う論理反転回路209を追加した点、および、論理指定信号をコントローラ207に供給している点であり、その他の構成は図2に示した第2実施形態に係る光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。また、光送信装置1については図示を省略している。

[0081] 図3において、光受信装置2のデータ再生回路204は、バランス型受光器202から出力される信号列を識別再生し、論理反転回路209は、データ再生回路204の出力信号の論理を外部から入力される論理指定信号に基づいて、すなわち必要に応じて反転させ、出力する。

[0082] 外部から入力される論理指定信号は、論理反転回路209に対して、データ再生回路204の出力信号と、論理反転回路209により論理反転された信号のいずれかを選択的に出力させる機能を有するが、この信号を出力する機能部を光受信装置の内部に設けてもよい。この論理指定信号、またはこの論理指定信号を生成する機能部は、本発明の選択手段に相当する。

- [0083] 論理反転回路209により必要に応じて論理反転することにより、前記光送信装置1から出力される位相変調光の中心波長と前記マッハツェンダ干渉計200の通過帯域波長とのずれの補正量を、MZI200の通過帯域が光送信装置1から出力される位相変調光の中心波長で最大となる場合も最小となる場合も前記MZI200の繰り返し周波数の $1/2$ 以下とすることができる。
- [0084] 論理反転回路209は、EXOR (Exclusive OR) 回路で構成するのが容易である。論理指定信号は、外部より入力されるが、この論理指定信号は光受信装置2の出力信号のフレーム情報を検出して自動的に指定すべき論理を判別して、生成することもできし、コマンド等を手入力する方法もある。
- [0085] 上述したように、論理指定信号は、コントローラ207にも入力され、論理反転が必要などときには、位相調整端子201に印加するバイアス電圧の極性を反転させる(または通流させるバイアス電流の方向を反転させる)必要がある。
- [0086] なお、図3では第2実施形態へ適用する場合について示したが、これ以外の実施形態へ適用するようにしても良い。
- [0087] [第4実施形態]

本発明の第4実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第4実施形態に係る光伝送システムの構成を図4に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第2実施形態に係る光伝送システムと構成上、異なるのは、光送信装置1に、信号ビットレートと同一のクロック信号を生成するクロック信号生成回路105と、クロック信号生成回路105より出力されるクロック信号で強度変調を行う強度変調器104とを設け、光受信装置2に、クロック抽出回路の代わりに、MZI200における2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路220と、光分岐回路220に接続されたモニタ用受光器210と、モニタ用受光器210から出力される強度変調光から周波数 $f_1$ の低周波信号が重畳されたクロックを抽出する狭帯域アンプ211とを設け、電力検出回路2080が、狭帯域アンプ211の出力信号に基づいて、クロックに重畳されている周波数 $f_1$ の低周波信号を抽出し、同期検波回路223が電力検出回路2080の出力に基づいて光送信装置1から出力される位相変調光の中心波長とMZI200の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知するようにした点であり、その他の



構成は図2に示した第2実施形態に係る光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0088] 光送信装置1に設けた強度変調器104がクロック信号生成回路105より出力されるクロック信号で強度変調を行うことによりRZ-DPSK信号が生成される。

[0089] 光送信装置1側で位相変調光を強度変調することで、光受信装置2ではクロック抽出回路を簡略化することができる。光送信装置1側で生成する光信号の変調符号は、CSRZ-DPSKでもよい。

[0090] [第5実施形態]

本発明の第5実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第5実施形態に係る光伝送システムの構成を図5に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第2実施形態に係る光伝送システムと構成上、異なるのは、光受信装置2において、データ再生回路204の出力信号とデータ識別前の信号との相関、すなわち差分を検出する差動回路212をクロック抽出回路205に代えて設けた点であり、その他の構成は図2に示した第2実施形態に係る光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。差動回路212は、本発明の相関検出回路に相当する。なお、光送信装置1については図示を省略している。

[0091] 電力検出回路2080は、第2実施形態でクロック抽出回路205から出力されるクロック信号に重畳された周波数 $f_1$ の前記低周波信号を同期検波して抽出する代わりに、差動回路212により、データ再生回路204による識別再生前のデータ信号と識別再生後のデータ信号の相関を取り、差動回路212の出力から周波数 $f_1$ の低周波信号を抽出し、同期検波回路223は電力検出回路2080の出力に基づいて光送信装置1の位相変調光の中心波長とMZI200の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知する。

[0092] データ再生回路204におけるデータ識別再生前のデータ信号には、低周波 $f_1$ が重畳されているが識別再生後のデータ信号には低周波は重畳されていないので、差動回路212では、この差を検出すると低周波成分のみを検出することができる。

[0093] [第6実施形態]

本発明の第6実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第6実

施形態に係る光伝送システムの構成を図6に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第2実施形態に係る光伝送システムと構成上、異なるのは、光送信装置1に、光源101を直接強度変調する前記周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さの周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路106を設け、かつ光受信装置2に、MZI200における2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路220と、該光分岐回路220に接続されたモニタ用受光器210と、モニタ用受光器210から出力される強度変調光から前記周波数 $f_1$ の低周波信号が重畳された周波数 $f_2$ の成分を抽出するアンプ214及びフィルタ213とをクロック抽出回路205に代えて設けた点であり、その他の構成は図2に示した第2実施形態に係る光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

- [0094] 電力検出回路2080は、第2実施形態におけるクロック抽出回路205から出力されるクロック信号に重畳された周波数 $f_1$ の低周波信号を同期検波して抽出する代わりに、フィルタ213から出力される周波数 $f_2$ の成分に重畳されている周波数 $f_1$ の低周波信号を抽出し、同期検波回路223は電力検出回路2080の出力に基づいて光送信装置1から出力される位相変調光の中心波長とMZI200の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知する。

アンプ214及びフィルタ213は本発明の信号検出手段に相当する。

- [0095] ここでは光送信装置1では、光源101の出力を発振回路106の出力信号により周波数 $f_2$ で強度変調している。このとき周波数 $f_2$ は、周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さとする必要があり、また伝送路途中に設置される光アンプの低域遮断域よりも高域の周波数を選択する必要がある。

光送信装置1の出力信号光に重畳された周波数 $f_2$ の強度変調成分に、光受信装置2のMZI200で周波数 $f_1$ が重畳され、出力される。

- [0096] モニタ用受光器210では、MZI200の片ポートより分岐された光信号を検波し、アンプ214で増幅した後、フィルタ213でそこに重畳されている周波数 $f_2$ の信号を検出する。

この方式の利点はモニタ用受光器および後段のアンプ、電力検出回路、同期検波回路などに高周波特性のすぐれた製品を使用しなくても可能なことである。

[0097] ところで送信側で強度変調した強度変調成分は、バランス型受光器202では出力されないのでデータ再生回路204における信号再生には大きな影響を与えない。ただし、バランス型受光器202への2つの入力信号レベルは一致させる必要がある。図6に示す光伝送システムでは、片ポートにモニタ端子を設けているのでこの分の損失と同等の損失を他方のポートにも加える必要はある。

[0098] [第7実施形態]

本発明の第7実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第7実施形態に係る光伝送システムの構成を図7に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第6実施形態に係る光伝送システムと構成上、異なるのは、送信側の光源を強度変調する代わりに、光受信装置2に、周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路216と、発振回路216の出力信号で信号光を強度変調する強度変調器215とを設けた点であり、その他の構成は図6に示した第6実施形態に係る光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。なお、光送信装置1については図示を省略している。

[0099] ここでは、受信装置2の入力段に強度変調器215を設置して、発振回路216から出力される周波数 $f_2$ の信号で強度変調している。この強度変調器215はたとえば、LN (Lithium Niobate) 変調器、AO (AcoustoOptic) 変調器、電界吸収型変調器のいずれでもよい。

[0100] [第8実施形態]

本発明の第8実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第8実施形態に係る光伝送システムの構成を図8に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第7実施形態に係る光伝送システムと構成上、異なるのは、光受信装置2における強度変調器215の代わりに、光アンプ217を設けて、光アンプ217の利得を、周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路218により周波数 $f_2$ で変調するようにした点であり、その他の構成は図7に示した第7実施形態に係る光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。なお、光送信装置1については図示を省略している。

[0101] 変調器を用いると挿入損失によるSN比劣化が問題となるので、本実施形態では、

光アンプ217の利得を変調するようにしている。特に、光アンプを用いる場合は、WDMシステムへの適用を考えると、受信アンプで一括して変調できるので効果的である。

[0102] 第7実施形態、第8実施形態のいずれにおいても、ここで強度変調しても強度変調成分はバランス型受光器202では出力されないので、信号再生には大きな影響を与えない。ただし、バランス型受光器202への2つの入力信号レベルは一致させる必要がある。図では、片ポートにモニタ端子を設けているのでこの分の損失と同等の損失を他方のポートにも加える必要はある。

[0103] [第9実施形態]

本発明の第9実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第9実施形態に係る光伝送システムの構成を図9に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第8実施形態に係る光伝送システムと構成上、異なるのは、受信装置2は、前記光分岐回路220と前記モニタ用受光器210とを具備するかわりに、バランス型受光器202に inputs される、変換された強度変調光の入力レベルを非対称にする入力レベル調整手段を設けた点であり、その他の構成は図8に示した第8実施形態に係る光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。なお、光送信装置1については図示を省略している。

[0104] 光送信装置1側、もしくは光受信装置2側において、周波数 $f_2$ で強度変調された信号光は、バランス型受光器202の2つの入力ポートに入力される平均信号パワーが同一であれば出力されない。言い換えれば、故意に一方の入力ポートの入力平均パワーを少なくすれば強度変調成分を検出できる。

本実施形態では、そのための光減衰器219を一方の入力ポートに接続している。光減衰器219は、本発明の入力レベル調整手段に相当する。

[0105] バランス型受光器202で検出した周波数 $f_2$ の強度変調成分はフィルタ213を介して電力検出回路2080に入力され、MZI200の制御に用いられる。データ再生回路204の入力端には、コンデンサC1を接続してこの強度変調成分を遮断することによりデータ再生回路204における信号識別再生には大きな影響を与えることはない。

[0106] なお、上述した第6～第9実施形態では、周波数 $f_2$ による強度変調について3通り(

光送信装置1における光源の直接強度変調, 強度変調器を用いた光受信装置1での強度変調, 光アンプを用いた光受信装置1での強度変調), 周波数 $f_2$ の検出について2通り(MZI200の一方のポートのモニタ, バランス型受光器202の一方の入力ポートへの光減衰器219の接続)挙げたが、第6―第9実施形態で説明した構成に限られるわけではなく、両者を任意に組み合わせても良い。

[0107] [第10実施形態]

本発明の第10実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第10実施形態に係る光伝送システムの構成を図13に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第1実施形態と異なるのは、図2などと同様に、バランス型検波回路221をバランス型受光器202及びアンプ203で構成していること、および、微小変調信号成分検出回路222が、アンプ203の出力からデータを識別して再生するデータ再生回路204と、バランス型検波回路221から出力される主信号のアイパターンの開口をモニタするアイ開口モニタ回路231と、微小変調信号成分( $f_1$ )を通過させる帯域通過フィルタ232で構成されていることである。その他の構成は図1に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0108] 信号光のキャリア周波数が、マッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークまたはボトムからずれると、バランス型受光器202で検波されてアンプ203から出力される主信号の振幅が小さくなるか、もしくは、 $S/N$ が劣化する。従って、アイ開口モニタ回路231により主信号のアイ開口をモニタし、帯域通過フィルタ232により微小変調信号成分( $f_1$ )を抽出することによって、マッハツェンダ干渉計200を通過した光信号に重畳された微小変調信号成分の振幅と位相を検出することができる。この信号を同期検波回路223で同期検波することにより誤差信号を抽出でき、この誤差信号でフィードバックすることによって所望の状態にロックすることができる。

本実施形態の最大の利点は、必ずアイ開口が最大の点に安定させることができることである。

[0109] [第11実施形態]

本発明の第11実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第11実施形態に係る光伝送システムの構成を図14に示す。本実施形態に係る光伝送シ

システムが、第1実施形態と異なるのは、バランス型検波回路221をバランス型受光器202及びアンプ203で構成していること、および、微小変調信号成分検出回路222が、アンプ203の出力からデータを識別して再生するとともにその内部に符号誤り検出機能を具備するデータ再生回路204と、その誤り検出数をモニタする誤り検出数モニタ回路241と、図13に示した帯域通過フィルタ232とで構成されていることである。その他の構成は図1に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0110] 信号光のキャリア周波数が、マッハツェンダ干渉計の光周波数特性のピークまたはボトムからずれると、データ再生回路204で再生したデータに符号誤りが生じる。従って、この符号誤りの誤り検出数を誤り検出数モニタ回路241でモニタし、帯域通過フィルタ232により微小変調信号成分( $f_1$ )を抽出することによって、マッハツェンダ干渉計200を通過した光信号に重畳された微小変調信号成分の振幅と位相を検出することができる。この信号を同期検波回路232で同期検波することにより誤差信号成分を抽出でき、この誤差信号成分をフィードバックすることによって所望の状態にロックすることができる。

[0111] なお、上述した説明では符号誤りの検出数を用いたが、これに代えて符号誤りの訂正数を用いるようにしても良い。

本実施形態の最大の利点は、必ず符号誤り率が最小となる点に安定させることができることである。

[0112] [第12実施形態]

本発明の第12実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第12実施形態に係る光伝送システムの構成を図15に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第1実施形態と異なるのは、バランス型検波回路221がバランス型受光器202とアンプ203に相当する等価増幅回路とで構成されていること、微小変調信号成分検出回路222が、等価増幅回路の出力からデータを識別して再生するデータ再生回路204と、バランス型検波回路221を構成する等価増幅回路の消費電流をモニタする消費電流モニタ回路251と、図13に示した帯域通過フィルタ232で構成されていることである。

- [0113] 等価増幅回路は、一般的にトランスインピーダンス増幅器252(TIA)とリミッティング増幅器(LIM) 253により構成される。また、消費電流モニタ回路251は、リミッティング増幅器253の電源端子と電源の間に挿入された抵抗254と、この電源端子の電圧を増幅して出力するアンプ255から構成される。その他の構成は図13に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。
- [0114] 信号光のキャリア周波数が、マッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークまたはボトムからずれると、等価増幅回路へ入力される主信号の振幅が小さくなる。等価増幅回路を構成するトランジスタ増幅回路は、一般に入力信号電圧(電流)が+側に振れたときと-側に振れたときでトランジスタに流れる電流値が非対称であるため、トランジスタ増幅回路への入力信号の振幅によって消費電流が異なることになる。
- [0115] 従って、消費電流モニタ回路251により等価増幅回路の消費電流をモニタし、帯域通過フィルタ232により微小変調信号成分(f1)を抽出することによって、マッハツェンダ干渉計200を通過した光信号に重畳された微小変調信号成分の振幅と位相を検出することができる。この信号を同期検波回路223により同期検波することにより誤差信号成分を抽出でき、この誤差信号成分をフィードバックすることによって所望の状態にロックすることができる。
- [0116] 本実施形態の最大の利点は、主信号に与える影響が大きい主信号分岐を用いることなく、主信号のピークを検出できることである。
- [0117] [第13実施形態]
- 本発明の第13実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第13実施形態に係る光伝送システムの構成を図16に示す。本実施形態に係る光伝送システムが第1実施形態と異なるのは次の点である。
- [0118] すなわち、バランス型検波回路221は、マッハツェンダ干渉計200の2つの出力アームにそれぞれ設けられた光分岐回路261及び262と、これら分岐回路によって分岐された2つの光信号を結合させる光結合回路263と、バランス型受光器202と、アンプ203と、光結合回路263で結合させた光を検波するフォトディテクタ264と、フォトディテクタ264から出力される電気信号を増幅する増幅回路265とで構成されている

。 [0119] また、微小変調信号成分検出回路222は、アンプ203の出力からデータを識別して再生するデータ再生回路204と、増幅回路265から出力される微小変調信号成分(f1)を通過させる帯域通過フィルタ232とで構成されている。このとき、分岐されて再結合される2つの光経路は、ビットに対して等長であり光位相に対しては逆相である。その他の構成は図1に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0120] 信号光のキャリア周波数が、マッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークまたはボトムからずれると、マッハツェンダ干渉計200の2つの出力ポートに出力される光は、マーク側のピークパワーが減少し、スペース側のピークパワーが増加する。光分岐回路261及び262ならびに光結合回路263を用いてこの2つの光を等長かつ逆相で干渉させることにより、信号光のキャリア周波数がマッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークまたはボトムからずれると、ピークパワーの減少したマーク側の光とピークパワーが増加したスペース側の光が逆相で干渉するので、干渉した光のピークパワー及び平均パワーが減少することになる。このパワー変動をフォトディテクタ264で検出し、増幅回路265を介して帯域通過フィルタ232により微小変調信号成分(f1)を抽出することで、マッハツェンダ干渉計200を通過した光信号に重畳された微小変調信号成分の振幅と位相を検出することができる。この信号を同期検波回路223で同期検波することにより誤差信号成分を抽出でき、この誤差信号成分をフィードバックすることによって所望の状態にロックすることができる。

[0121] 本実施形態の最大の利点は、電気領域での主信号分岐を行わず、比較的低速(f1)のフォトディテクタで微小変調信号成分を検出できることである。

[0122] [第14実施形態]

本発明の第14実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第14実施形態に係る光伝送システムの構成を図17に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第1実施形態と異なるのは、バランス型受光器202, アンプ203, 及び、正(+)電源からバランス型受光器202に対してバイアス電圧を印加するための抵抗271によりバランス型検波回路221を構成していること、および、アンプ203の出力から



データを識別して再生するデータ再生回路204とバランス型受光器202を構成する一方のフォトディテクタに流れる光電流を検出して増幅する増幅回路272と図13に示した帯域通過フィルタ232とで微小変調信号成分検出回路222を構成していること、および、マッハツェンダ干渉計200のFSR(フリースペクトルレンジ)が主信号のクロックレートより若干(すなわち、後述するように主信号のペナルティが無視できる範囲内の所定量)大きめに設定してあることである。

[0123] なお、例えば図13〜図16においても実際には抵抗271が設けられているが、これらの図における動作には直接関係していなかったため、図示を省略していた。その他の構成は図1に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0124] DPSK-DD方式を用いたシステムでは、光信号変調帯域がマッハツェンダ干渉計のFSRと比べて広く、光キャリア周波数がマッハツェンダ干渉計の光周波数特性のピークもしくはボトムからずれてもほとんど光パワーの変化はない。従って、光信号に重畳された微小変調信号成分の検出が困難になる。特に、RZ系のDPSK信号はNRZ系のDPSK信号に比べて変調スペクトルが広く、より検出が困難である。本実施形態では、マッハツェンダ干渉計200のFSRを主信号クロックレートからペナルティが出ない程度に大きくすることによって、相対的に光信号変調帯域が狭まったのと等価になり、微小変調信号成分を容易に検出できるようになる。

[0125] 図18は、マッハツェンダ干渉計200のFSRシフトを示す図である。MZI透過特性1が主信号クロックレートと等しいFSR(図中のFSR1(基準))を有するマッハツェンダ干渉計の光周波数特性であり、MZI透過特性2が主信号クロックレートより若干大きいFSR(図中のシフトしたFSR2)を有するマッハツェンダ干渉計の光周波数特性である。なお、FSRシフト量はFSR2-FSR1で求められる。

[0126] 図19は、FSRシフト量と微小変調信号成分検出感度(光パワー平均値変動量/平均値)の関係を示す図である。FSRシフト量を大きくしていくと光パワー平均値の変動量が増加していくことが分かる。

[0127] また、図20は、FSRシフトによる主信号のアイ開口ペナルティを示す図である。ビットレートの10%以内くらいであればアイ開口ペナルティを0.1dB以下に抑えられるこ

とが分かる。よって、FSRを主信号のクロックレートより若干大きめに設定することにより、主信号にほとんどペナルティを与えることなく主信号の平均光パワーを検出し、その信号を同期検波回路223で同期検波することにより誤差信号成分を抽出でき、この誤差信号成分をフィードバックすることによって所望の状態にロックすることができる。

[0128] 本実施形態の最大の利点は、電気領域での主信号分岐を行わず、バランス型受光器202の電源端子から得られる比較的低速( $f_1$ )の信号で制御を行うことができることである。

[0129] [第15実施形態]

本発明の第15実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第15実施形態に係る光伝送システムの構成を図21に示す。本実施形態に係る光伝送システムが第14実施形態と異なるのは、バランス型受光器202の片側(正電源側)のフォトディテクタの電源端子からだけ信号を取り出すのではなく、抵抗273を介して負電源に接続されたバランス型受光器202のもう片側のフォトディテクタの光電流を増幅回路275で検出することにより、両側のフォトディテクタの電源端子から信号を取り出し、減算器274で取り出した2本の信号の差分を求め、この差分で第14実施形態と同様に帰還制御を行うことである。その他の構成は図17に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。主信号と同様に制御用帰還信号もバランス型検波することにより、検出感度をより高くできる。

[0130] 本実施形態の最大の利点は、電気領域での主信号分岐を行わず、バランス型受光器202の電源端子から得られる比較的低速( $f_1$ )の信号で制御を行うことができ、かつ検出感度が比較的高いことである。

[0131] [第16実施形態]

本発明の第16実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第16実施形態に係る光伝送システムの構成を図22に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第1実施形態と異なるのは、微小変調信号成分検出回路222の後段に論理反転回路209が接続されていることである。本実施形態は第3実施形態の技術思

想を第1実施形態に適用した場合について示したものであつて、論理反転回路209は図3に示したものと同一であるため、同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0132] 本実施形態の最大の利点は、マッハツェンダ干渉計の位相調整端子に印加する初期の設定値の最大値を、論理反転回路を用いない場合の1/2以下に低減できることである。

[0133] [第17実施形態]

本発明の第17実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第17実施形態に係る光伝送システムの構成を図23に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第1実施形態と異なるのは、光受信装置2が、マッハツェンダ干渉計200の温度状態からウォームアップ状態を検出するMZIウォームアップ検出回路281と、マッハツェンダ干渉計200への帰還制御を行う制御ループを開閉することによりマッハツェンダ干渉計200への帰還制御をON/OFFできるループ開閉スイッチ282と、微小変調信号成分検出回路222が検出した微小変調信号の位相と微小変調信号発振回路224から出力される微小変調信号の位相を比較して誤差信号を出力する同期検波回路223と、同期検波回路223からの誤差信号に基づいて制御ループのロック状態を検出した場合にロック検出信号を出力するロック検出回路284と、制御ループの光周波数ロックが外れた場合の再引き込み機能を有するループ再引き込み機能付制御回路285とを有することである。

[0134] また、MZIウォームアップ検出回路281は、マッハツェンダ干渉計200の基板の温度をモニタして該温度に対応する電圧を出力するMZI温度モニタ286と、MZI温度モニタ286からの出力電圧と基準電圧Vref1を比較して基板の温度が適正範囲にあるかどうかを示す比較結果を示す信号をループ開閉スイッチ282に出力するコンパレータ287を有している。

[0135] マッハツェンダ干渉計は、全体の温度を一定にして使用するため、システムの起動時に温度が設定値まで達するのにある程度の時間がかかる。このときマッハツェンダ干渉計の光周波数特性は激しく流れており(ドリフトしており)、ここで制御をかけようとすると暴走する危険がある。従って、本実施形態では、マッハツェンダ干渉計200の

ウォームアップが終了してから制御ループを閉じることにしており、これによって不要な不安定要因を取り除くことができる。

[0136] また、何か予期せぬ外乱で光周波数ロックが外れた場合、ロック検出回路284とループ再引き込み機能付制御回路285を用いることにより、外乱が収まった後、再びロック状態にもっていくことができる。

[0137] 図24は、ループ再引き込み機能付制御回路285の構成例を示す。ループ再引き込み機能付制御回路285は、ロック検出信号および誤差信号に基づいて動作する三角波発生回路2851、誤差信号を増幅する増幅器2852、増幅器2852の出力と三角波発生回路2851の出力を加算して出力する加算器2853を有している。

[0138] また、三角波発生回路2851は、ロック検出信号に従って基準電圧 $V_{ref}$ と接地とを切り替えるスイッチ2854と、後述する信号Bおよび信号Cを比較して比較結果を出力信号Aおよびその反転出力信号として出力するコンパレータ2855と、スイッチ2854に連動して動作するスイッチであってロック検出信号に従って誤差信号とコンパレータ2855の出力信号Aとを切り替えるスイッチ2856と、スイッチ2854及びスイッチ2856を介して供給される2つの信号の差を積分する積分回路2857と、コンパレータ2855の反転出力信号を分圧して信号Cを生成する抵抗2858及び2859とを有している。

[0139] ロック検出信号が検出されている場合は、スイッチ2854により積分回路2857の一方の入力を基準電圧 $V_{ref}$ に接続するとともに、スイッチ2856により積分回路2857の他方の入力へ誤差信号を供給することにより、積分回路2857のループを閉じて通常の帰還制御状態になる。これによって、誤差信号が基準電圧 $V_{ref}$ となるように、基準電圧 $V_{ref}$ に対する誤差信号のずれが積分される。また、ロック検出信号が検出されない場合は、スイッチ2854により積分回路2857の一方の入力を接地するとともに、スイッチ2856によりコンパレータ2855の出力(出力信号A)と積分回路2857の他方の入力を接続することで、積分ループを開くとともに、コンパレータ2855と積分回路2857によって三角波を発生させる。

[0140] 図25は三角波発生回路2851の動作を示す図である。上述したように、出力信号Aはコンパレータ2855の出力、信号Cは出力信号Aの反転出力をコンパレータ2855

の入力側に折り返している信号、信号Bは積分器2857からの三角波出力である。コンパレータ2855では、信号Bと信号Cの比較により、信号Bが信号Cを超えたことを検出して出力信号Aと信号Cを反転するという動作を繰り返し、信号Bのような三角波を出力できる。

[0141] 図26は、ロック検出回路284の構成例を示す。図示したロック検出回路284は、正負電源間を分圧して上述した基板温度の適正範囲の上限値及び下限値にそれぞれ相当する電圧VH及びVLを出力する抵抗2841〜2843、ロック検出回路284に入力される電圧Vpcと電圧VHを比較するコンパレータ2844と、電圧Vpcと電圧VLを比較するコンパレータ2845、コンパレータ2844及び2845の論理積を演算するAND回路2846を有している。このロック検出回路は、図23に示した同期検波回路223からの誤差信号の電圧である電圧Vpcが電圧VHと電圧VLの間にあればロックと判断する閾値回路である。

[0142] 図27は、ロック検出回路284と三角波発生回路2851の動作を示す図である。ロックが外れたとロック検出回路284が判断した場合、ループ再引き込み機能付制御回路285の動作は三角波発生回路の動作に切り替わり、図のように三角波で位相調整端子201(図23参照)に印加される電流を掃引する。掃引しながら同期検波回路223の出力電圧が電圧VHと電圧VLの間のロック判定領域に入ったならば、ループ再引き込み機能付制御回路285の動作は三角波発生回路の動作から積分回路の動作にスイッチして制御ループを閉じる。

[0143] 本実施形態の最大の利点は、制御回路が不安定な状態になりにくく、ロックが外れても再びロック状態にすることができることである。なお、図23では第1実施形態へ適用した場合について示したが、これ以外の実施形態へ適用するようにしても良い。

[0144] [第18実施形態]

本発明の第18実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第18実施形態に係る光伝送システムの構成を図28に示す。本実施形態に係る光伝送システムが第1実施形態と異なるのは、マッハツェンダ干渉計200がその2つのアームにそれぞれ2つの位相調整端子(すなわち、上述した位相調整端子201に加えて位相調整端子291)を持ち、その一方(図では位相変調端子291)に微小変調信号を

印加し、他方(図では位相変調端子201)には帰還制御信号(帰還誤差信号)を印加することである。

[0145] 具体的には、加算器225が設けられていないこと、基準信号Vref2と微小変調信号発振回路224の出力を比較して微小変調信号の動作点を設定するための信号を出力する微小変調動作点設定回路292と、微小変調動作点設定回路292の出力に基づいて位相調整端子291を駆動するドライバ293と、基準電圧Vref3と同期検波回路223の出力を比較して帰還制御信号の動作点を決定するための信号を出力するMZIオフセット設定回路294とを設けている。その他の構成は図1に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0146] 例えば、アームの光位相調整手段に熱光学効果を使ったマッハツェンダ干渉計では、駆動回路の動作点によって位相調整効率が異なる。微小変調信号と帰還制御信号が加算器225で加算されて同じ位相調整端子に接続されると、帰還制御信号の大きさによって微小変調の効率が変化するため、ループの安定動作やペナルティの見積が大変難しくなる。本実施形態では、微小変調用と帰還制御用の位相調整端子を分割することにより、上記問題点を解決することができる。さらに、微小変調信号と帰還制御信号の動作点を決定するため、基準電圧の設定回路として微小変調動作点設定回路292とMZIオフセット設定回路294を設けることにより、それぞれの動作点を独立に調整することが可能となる。

[0147] なお、本実施形態では、マッハツェンダ干渉計200の2つのアームにそれぞれ位相調整端子201及び291を設けた。しかし、電極を分割すればこれら位相調整端子を設けるのと同様のことが実現できるため、片側のアームに複数の電極を設けそれぞれに微小変調信号と帰還制御信号を印加しても良い。

[0148] 本実施形態の最大の利点は、微小変調信号を常に安定した効率で印加できることである。なお、図28では第1実施形態へ適用した場合について示したが、これ以外の実施形態へ適用するようにしても良い。

[0149] [第19実施形態]

本発明の第19実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第19

実施形態に係る光伝送システムの構成を図29に示す。本実施形態に係る光伝送システムが第18実施形態と異なるのは、光受信装置2に、検波された受信信号光から、光キャリア周波数とマッハツェンダ干渉計200の光周波数特性との相対的な位置を検出する光キャリア周波数検出回路295を有することである。その他の構成は図28に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0150] 第13〜第15実施形態のように、光信号の平均パワー最大値の点に、マッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークまたはボトムを設定するような制御を行う場合、光変調信号の光スペクトルの非対称性によって制御安定点が必ずしも光キャリアの周波数に合致しない場合が考えられる。本実施形態では、光キャリア周波数検出回路295によって光キャリアの位置を検出し、その点にマッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークもしくはボトムを安定化させるようにMZIオフセット設定回路294にオフセット値を与える。

[0151] なお、光キャリア周波数検出回路295は、キャリアのない変調信号からキャリアの位置を見つけなければならないため、例えば、ファブリペロー共振器をスキャンして光スペクトルの最小点を2つ見つけ、その2つの周波数の中間点を光キャリア周波数とする方法を用いることなどが考えられる。

[0152] 本実施形態の最大の利点は、光変調信号スペクトルが非対称であっても、マッハツェンダ干渉計の光周波数特性のピークもしくはボトムを光キャリア周波数に合致させることができることである。なお、図29では第1実施形態を基にした第18実施形態へ適用した場合について示したが、これ以外の実施形態を基にした構成に適用しても良い。

[0153] [第20実施形態]

本発明の第20実施形態に係る光伝送システムについて説明する。本発明の第20実施形態に係る光伝送システムの構成を図30に示す。本実施形態に係る光伝送システムが、第19実施形態と異なるのは、光送信装置1が、主信号の変調をON/OFFできる変調状態制御回路110と、主信号の回線とは別に設けられた制御用回線を用いて光受信装置2との間で制御信号のやり取りを行う制御信号通信回路111とを

有すること、また、光受信装置2が、上記の制御用回線を用いて光送信装置1との間で制御信号のやり取りを行う制御信号通信回路297を有することである。その他の構成は図29に示した光伝送システムと同一であるので同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0154] 光送信装置1で主信号の変調をOFFにできることにより、無変調の光キャリアのみ受信側に送信することができ、光受信装置2では、この光キャリアを使って容易に光キャリア周波数を知ることができる。受信側では、光キャリア周波数検出回路295が、制御信号通信回路297を介して受信したこの光キャリア周波数に関する情報を用いて、光キャリア周波数とマッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークもしくはボトムの周波数を一致させるように、MZIオフセット設定回路294にオフセット値を与える。

[0155] 具体的な動作としては、光伝送システムの起動時に、光送信装置1が主信号の変調をOFFにして光キャリアのみを送信する。光受信装置2は、光送信装置1から送られた光キャリア周波数とマッハツェンダ干渉計200の光周波数特性との相対的な位置を検出して、光キャリア周波数の位置とマッハツェンダ干渉計200の光周波数特性のピークまたはボトムの位置とを合わせるようにMZIオフセット設定回路294のオフセット値を調整する。次いで、光受信装置2はオフセット調整が完了したことを示す制御信号を制御信号通信回路297から光送信装置1に伝える。光送信装置1は制御信号通信回路111を介して制御信号を受け取った後、変調状態制御回路110が変調器駆動回路102を制御して主信号の変調をONにする。

[0156] 本実施形態の最大の利点は、光変調信号スペクトルが非対称であっても、容易に光キャリア周波数を検出でき、マッハツェンダ干渉計の光周波数特性のピークもしくはボトムを光キャリア周波数に合致させることができることである。なお、図30では第1実施形態を基にした第19実施形態へ適用した場合について示したが、これ以外の実施形態を基にした構成に適用しても良い。

[0157] 以上、本発明の実施形態を図面を参照して説明してきたが、これら実施形態は本発明の例示に過ぎず、本発明がこれら実施形態に限定されるものでないことは明らかである。したがって、本発明の精神および範囲を逸脱しない範囲で構成要素の追



加, 省略, 置換, その他の変更を行うようにしても良い。

#### 産業上の利用可能性

- [0158] 本発明はDPSK-DD方式等を採用した光伝送システム、光伝送システムの光送信装置及び光受信装置であって、光受信装置が具備するマッハツェンダ干渉計の2つのアームの信号光の位相差を一定の周波数で変調し、その周波数成分の位相を検出することで、送信側の光源の光周波数に合致した、マッハツェンダ干渉計の最適な動作点に設定することが可能で、最良の受光特性を得ることができる。

## 請求の範囲

- [1] 差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光して復調する光受信装置とを備え、

前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅  $\Delta \phi$  を  $0 \leq \Delta \phi \leq \pi$  の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有し、

前記光受信装置は、

受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉する両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、

該マッハツェンダ干渉計における2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型検波回路と、

前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に周波数 $f_1$ の第1の低周波信号を印加する低周波信号発生回路と、

前記バランス型検波回路から供給される信号から第2の低周波信号を検出する微小変調信号成分検出回路と、

前記微小変調信号成分検出回路から出力される前記第2の低周波信号を前記低周波信号発生回路から出力される前記第1の低周波信号で同期検波することにより、前記光送信装置から出力される前記位相変調光の中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知する同期検波回路と、

前記ずれ量を修正するように前記2分岐された信号光の位相差を調整するための制御信号を出力する制御回路と、

前記制御信号に基づいて前記位相調整端子を駆動するドライバ回路と、

を有することを特徴とする光伝送システム。

- [2] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号を分岐した信号のアイ開口をモニタした信号を出力するアイ開口モニタ回路と、前記アイ開口モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

- [3] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するとともにその内部に符号誤り検出機能を備えたデータ再生回路と、前記データ再生回路から出力される誤り検出数情報をモニタした信号を出力する誤り検出数モニタ回路と、前記誤り検出数モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

- [4] 前記バランス型検波回路は等化増幅回路を有し、

前記微小変調信号成分検出回路は、前記等化増幅回路の消費電流をモニタした信号を出力する消費電流モニタ回路と、前記消費電流モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

- [5] 前記バランス型検波回路は、前記マッハツェンダ干渉計の前記2つの出力ポートをそれぞれ2つに分岐する光分岐手段と、該光分岐手段で分岐された2つの光を干渉させる光結合手段と、該光結合手段から出力された光信号を電気信号に変換する光検波手段とを有し、

前記微小変調信号成分検出回路は、前記光検波手段から出力される前記電気信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

- [6] 前記マッハツェンダ干渉計のフリースペクトルレンジが主信号のクロックレートから若干干シフトしており、

前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成している一方のフォトディテクタの光電流を増幅する第1の増幅器と、該第1の増幅器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出する帯域通過フィルタを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

- [7] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成する他方のフォトディテクタの光電流を増幅する第2の増幅器と、前記第1の増幅器の出力と前記第2の増幅器の出力の差を出力する減算器とをさらに有し、

前記帯域通過フィルタは、該減算器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出することを特徴とする請求項6に記載の光伝送システム。

- [8] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号列からクロックを抽出するクロック抽出回路と、前記クロック抽出回路から出力されるクロック信号に重畳された前記第2の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路とを有し、

前記同期検波回路は、前記低周波信号抽出回路から出力される前記第2の低周波信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

- [9] 前記光送信装置は、信号ビットレートと同一のクロック信号を生成するクロック信号生成回路と、該クロック信号生成回路より出力されるクロック信号で前記位相変調光の強度変調を行う強度変調器とを有し、

前記バランス型検波回路は、前記マッハツェンダ干渉計における前記2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路と、該光分岐回路に接続されたモニタ用受光器とを有し、

前記微小変調信号成分検出回路は、前記モニタ用受光器から出力される強度変調光から前記第2の低周波信号が重畳されたクロックを抽出する狭帯域アンプと、抽出されたクロックから前記第2の低周波信号を抽出する電力検出回路を有し、

前記同期検波回路は、前記電力検出回路の出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

- [10] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路と、前記データ再生回路の出力信号と識別前の信号との相関を検出する相関検出回路と、前記相関検出回路の出力から前記第2

の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路とを有することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

[11] 前記光伝送システムは、

前記周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さの周波数 $f_2$ の信号により前記位相変調光を強度変調する強度変調手段と、

前記周波数 $f_2$ の強度変調成分を検出する強度変調成分検出手段とを有し、

前記微小変調信号成分検出回路は、検出された前記周波数 $f_2$ の前記強度変調成分に重畳されている周波数 $f_1$ の前記第2の低周波信号を抽出することを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

[12] 前記光送信装置は、前記強度変調手段として、前記周波数 $f_2$ の信号を生成して前記光送信装置の光源を直接強度変調する発振回路を有することを特徴とする請求項11に記載の光伝送システム。

[13] 前記光受信装置は、前記強度変調手段として、

前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、

該発振回路の出力信号で信号光を強度変調する強度変調器と、を有することを特徴とする請求項11に記載の光伝送システム。

[14] 前記光受信装置は、前記強度変調手段として、

前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、

該発振回路に接続された光増幅器とを具備し、

該光増幅器の利得を前記発振回路により前記周波数 $f_2$ で変調することを特徴とする請求項11に記載の光伝送システム。

[15] 前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、

前記マッハツェンダ干渉計における前記2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路と、

該光分岐回路に接続されたモニタ用受光器と、

該モニタ用受光器から出力される強度変調光から前記周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有することを特徴とする請求項11～14のいずれかに記載の光伝送システム。

- [16] 前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、  
前記バランス型検波回路に入力する前記変換された強度変調光の入力レベルを非対称にする入力レベル調整手段と、  
前記バランス型検波回路の出力信号から前記周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有することを特徴とする請求項11～14のいずれかに記載の光伝送システム。
- [17] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路を有し、  
前記光受信装置は、  
さらに、  
前記データ再生回路の出力信号の論理を反転させて出力する論理反転回路と、  
前記データ再生回路の出力と前記論理反転回路の出力のいずれかを所定の論理指定信号に応じて選択的に出力する選択手段と、  
前記論理反転回路の出力が選択されたときに前記制御回路内の帰還誤差信号の極性を反転させる極性選択手段とを有し、  
前記光送信装置から出力される前記位相変調光の前記中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の前記通過帯域波長とのずれの補正量を、前記マッハツェンダ干渉計の繰り返し周波数の $1/2$ 以下とすることを特徴とする請求項1～16のいずれかに記載の光伝送システム。
- [18] 前記光受信装置は、さらに、  
前記マッハツェンダ干渉計の基板温度の状態を検出する温度検出回路と、  
該マッハツェンダ干渉計への帰還制御をON/OFFするループ開閉スイッチとを有し、  
前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が適正範囲にない場合は前記帰還制御を行うループを開き、前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が前記適正範囲にある場合は前記ループを閉じて前記帰還制御を行うことを特徴とする請求項1～17のいずれかに記載の光伝送システム。
- [19] 前記制御回路は、さらに、  
前記マッハツェンダ干渉計への帰還制御を行うループのロック状態を検出するロッ

ク検出回路と、

前記ロック状態が前記ループのロックが外れたことを示しているときに前記ロック状態への再引き込みを行う再引き込み回路とを有し、

前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出しているときは通常の帰還制御を行い、前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出していないときは前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に印加される駆動信号を掃引し、前記ロック検出回路が再びロック状態を検出したならば前記通常の帰還制御を行う状態に切り替えることを特徴とする請求項1〜17のいずれかに記載の光伝送システム。

[20] 前記マッハツェンダ干渉計は独立した2つの位相調整端子を具備し、

前記2つの位相調整端子の一方に前記微小変調信号発振回路の出力を印加し、前記2つの位相調整端子の他方に前記制御回路内の帰還誤差信号を印加することを特徴とする請求項1〜17のいずれかに記載の光伝送システム。

[21] 前記光受信装置は、

前記バランス型検波回路により検波された受信信号光から、光キャリア周波数と前記マッハツェンダ干渉計の光周波数特性との相対的な位置を検出する光キャリア周波数検出手段と、前記制御回路内の帰還誤差信号にオフセットを与えるオフセット設定回路とを有し、

前記光キャリア周波数の位置と前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性のピークまたはボトム的位置とを合わせるように前記オフセット設定回路のオフセット値を調整することを特徴とする請求項1〜17のいずれかに記載の光伝送システム。

[22] 前記光送信装置は、

主信号の変調をON/OFFする変調状態制御手段と、前記主信号の回線とは別に設けられた制御用回線を使って前記光受信装置と通信する第1の制御信号通信手段とを有し、

前記光受信装置は、

前記バランス型検波回路により検波された受信信号光から、光キャリア周波数と前記マッハツェンダ干渉計の光周波数特性との相対的な位置を検出する光キャリア周波数検出手段と、前記制御回路内の帰還誤差信号にオフセットを与えるオフセット設

定回路と、前記制御用回線を使って前記光送信装置と通信する第2の制御信号通信手段とを有し、

前記光伝送システム起動時に、前記光送信装置は、前記変調状態制御手段により前記主信号の変調をOFFにして光キャリアのみを送信し、前記光受信装置は、前記光キャリア周波数検出手段により前記光送信装置から送られた前記光キャリアの周波数と、前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性との相対的な位置を検出して、前記光キャリア周波数の位置と前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性のピークまたはボトムの位置とを合わせるように前記オフセット設定回路の前記オフセットを調整し、前記光受信装置はオフセット調整が完了したことを示す制御信号を前記第2の制御信号通信手段を使って前記光送信装置に伝え、前記光送信装置は該制御信号を受け取った後、前記主信号の変調をONにすることを特徴とする請求項1〜17のいずれかに記載の光伝送システム。

[23] 差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光して復調する光受信装置とを備え、

前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅 $\Delta\phi$ を $0 \leq \Delta\phi \leq \pi$ の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有し、

前記光受信装置は、受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉した両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、該マッハツェンダ干渉計の2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型受光器とを有する光伝送システムの光送信装置であって、

前記光送信装置は、

信号ビットレートと同一のクロック信号を生成するクロック信号生成回路と、該クロック信号生成回路より出力されるクロック信号で前記位相変調光の強度変調を行う強度変調器とを有することを特徴とする光伝送システムの光送信装置。

[24] 差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光し



て復調する光受信装置とを備え、

前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅 $\Delta\phi$ を $0 \leq \Delta\phi \leq \pi$ の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有し、

前記光受信装置は、受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉した両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、該マッハツェンダ干渉計の2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型受光器とを有する光伝送システムの光送信装置であって、

前記光送信装置は、前記光送信装置の光源を直接強度変調する周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さの周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路を有することを特徴とする光伝送システムの光送信装置。

[25] 差動符号化された位相変調光を出力する光送信装置と、この位相変調光を受光して復調する光受信装置とを備え、

前記光送信装置は、NRZ符号の入力信号をNRZ-I符号の信号に変換するエンコーダと、前記エンコーダによって符号化されたマークとスペースに対して、位相振幅 $\Delta\phi$ を $0 \leq \Delta\phi \leq \pi$ の範囲で与えた位相変調光を出力する位相変調器とを有する光伝送システムの光受信装置であって、

前記光受信装置は、

受信した前記位相変調光を2分岐し、該2分岐された一方の信号光に対して1ビット遅延させて、両信号光を干渉させて強度変調光に変換し、かつ干渉する両信号間の位相差を設定するための位相調整端子を有するマッハツェンダ干渉計と、

該マッハツェンダ干渉計における2つの出力ポートからの信号光を光電変換し、変換された電気信号の差分を出力するバランス型検波回路と、

前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に周波数 $f_1$ の第1の低周波信号を印加する低周波信号発生回路と、

前記バランス型検波回路から供給される信号から第2の低周波信号を検出する微

小変調信号成分検出回路と、

前記微小変調信号成分検出回路から出力される前記第2の低周波信号を前記低周波信号発生回路から出力される前記第1の低周波信号で同期検波することにより、前記光送信装置から出力される前記位相変調光の中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の通過帯域波長とのずれ量及びその方向を検知する同期検波回路と、

前記ずれ量を修正するように前記2分岐された信号光の位相差を調整するための制御信号を出力する制御回路と、

前記制御信号に基づいて前記位相調整端子を駆動するドライバ回路と、

を有することを特徴とする光伝送システムの光受信装置。

- [26] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号を分岐した信号のアイ開口をモニタした信号を出力するアイ開口モニタ回路と、前記アイ開口モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [27] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するとともにその内部に符号誤り検出機能を備えたデータ再生回路と、前記データ再生回路から出力される誤り検出数情報をモニタした信号を出力する誤り検出数モニタ回路と、前記誤り検出数モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [28] 前記バランス型検波回路は等化増幅回路を有し、

前記微小変調信号成分検出回路は、前記等化増幅回路の消費電流をモニタした信号を出力する消費電流モニタ回路と、前記消費電流モニタ回路から出力される信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタとを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [29] 前記バランス型検波回路は、前記マッハツェンダ干渉計の前記2つの出力ポートをそれぞれ2つに分岐する光分岐手段と、該光分岐手段で分岐された2つの光を干渉させる光結合手段と、該光結合手段から出力された光信号を電気信号に変換する光検波手段とを有し、

前記微小変調信号成分検出回路は、前記光検波手段から出力される前記電気信号に含まれている前記第2の低周波信号を通過させる帯域通過フィルタを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [30] 前記マッハツェンダ干渉計のフリースペクトルレンジが主信号のクロックレートから若干干シフトしており、

前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成している一方のフォトディテクタの光電流を増幅する第1の増幅器と、該第1の増幅器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出する帯域通過フィルタを有し、

前記同期検波回路は、前記帯域通過フィルタの出力信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [31] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型光検波回路を構成する他方のフォトディテクタの光電流を増幅する第2の増幅器と、前記第1の増幅器の出力と前記第2の増幅器の出力の差を出力する減算器とをさらに有し、

前記帯域通過フィルタは、該減算器の出力から前記第2の低周波信号の成分を抽出することを特徴とする請求項30に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [32] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される信号列からクロックを抽出するクロック抽出回路と、前記クロック抽出回路から出力されるクロック信号に重畳された前記第2の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路とを

有し、

前記同期検波回路は、前記低周波信号抽出回路から出力される前記第2の低周波信号に基づいて、前記ずれ量及びその方向を検知することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [33] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路と、前記データ再生回路の出力信号と識別前の信号との相関を検出する相関検出回路と、前記相関検出回路の出力から前記第2の低周波信号を抽出する低周波信号抽出回路とを有することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [34] 前記周波数 $f_1$ の低周波信号を重畳するのに十分な高さの周波数 $f_2$ の信号により前記位相変調光を強度変調する強度変調手段と、

前記周波数 $f_2$ の強度変調成分を検出する強度変調成分検出手段とを有し、

前記微小変調信号成分検出回路は、検出された前記周波数 $f_2$ の前記強度変調成分に重畳されている周波数 $f_1$ の前記第2の低周波信号を抽出することを特徴とする請求項25に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [35] 前記光受信装置は、前記強度変調手段として、  
前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、  
該発振回路の出力信号で信号光を強度変調する強度変調器と、を有することを特徴とする請求項34に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [36] 前記光受信装置は、前記強度変調手段として、  
前記周波数 $f_2$ の信号を生成する発振回路と、  
該発振回路に接続された光増幅器とを具備し、  
該光増幅器の利得を前記発振回路により前記周波数 $f_2$ で変調することを特徴とする請求項34に記載の光伝送システムの光受信装置。

- [37] 前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、  
前記マッハツェンダ干渉計における前記2つの出力ポートのうちの一方のポートを分岐する光分岐回路と、  
該光分岐回路に接続されたモニタ用受光器と、

該モニタ用受光器から出力される強度変調光から周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有することを特徴とする請求項34〜36のいずれかに記載の光伝送システムの光受信装置。

[38] 前記光受信装置は、前記強度変調成分検出手段として、

前記バランス型検波回路に入力する前記変換された強度変調光の入力レベルを非対称にする入力レベル調整手段と、

前記バランス型検波回路の出力信号から前記周波数 $f_2$ の成分を抽出する抽出回路とを有することを特徴とする請求項34〜36のいずれかに記載の光伝送システムの光受信装置。

[39] 前記微小変調信号成分検出回路は、前記バランス型検波回路から出力される電気信号を識別再生するデータ再生回路を有し、

前記光受信装置は、

さらに、

前記データ再生回路の出力信号の論理を反転させて出力する論理反転回路と、

前記データ再生回路の出力と前記論理反転回路の出力のいずれかを所定の論理指定信号に応じて選択的に出力する選択手段と、

前記論理反転回路の出力が選択されたときに前記制御回路内の帰還誤差信号の極性を反転させる極性選択手段とを有し、

前記光送信装置から出力される前記位相変調光の前記中心波長と前記マッハツェンダ干渉計の前記通過帯域波長とのずれの補正量を、前記マッハツェンダ干渉計の繰り返し周波数の $1/2$ 以下とすることを特徴とする請求項25〜38のいずれかに記載の光伝送システムの光受信装置。

[40] 前記マッハツェンダ干渉計の基板温度の状態を検出する温度検出回路と、

該マッハツェンダ干渉計への帰還制御をON/OFFするループ開閉スイッチとを有し、

前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が適正範囲にない場合は前記帰還制御を行うループを開き、前記マッハツェンダ干渉計の前記基板温度が前記適正範囲にある場合は前記ループを閉じて前記帰還制御を行うことを特徴とする請求項25〜

39のいずれかに記載の光伝送システムの光受信装置。

[41] 前記制御回路は、さらに、

前記マッハツェンダ干渉計への帰還制御を行うループのロック状態を検出するロック検出回路と、

前記ロック状態が前記ループのロックが外れたことを示しているときに前記ロック状態への再引き込みを行う再引き込み回路とを有し、

前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出しているときは通常の帰還制御を行い、前記ロック検出回路が前記ロック状態を検出していないときは前記マッハツェンダ干渉計の前記位相調整端子に印加される駆動信号を掃引し、前記ロック検出回路が再びロック状態を検出したならば前記通常の帰還制御状態を行う状態に切り替えることを特徴とする請求項25〜39のいずれかに記載の光伝送システムの光受信装置。

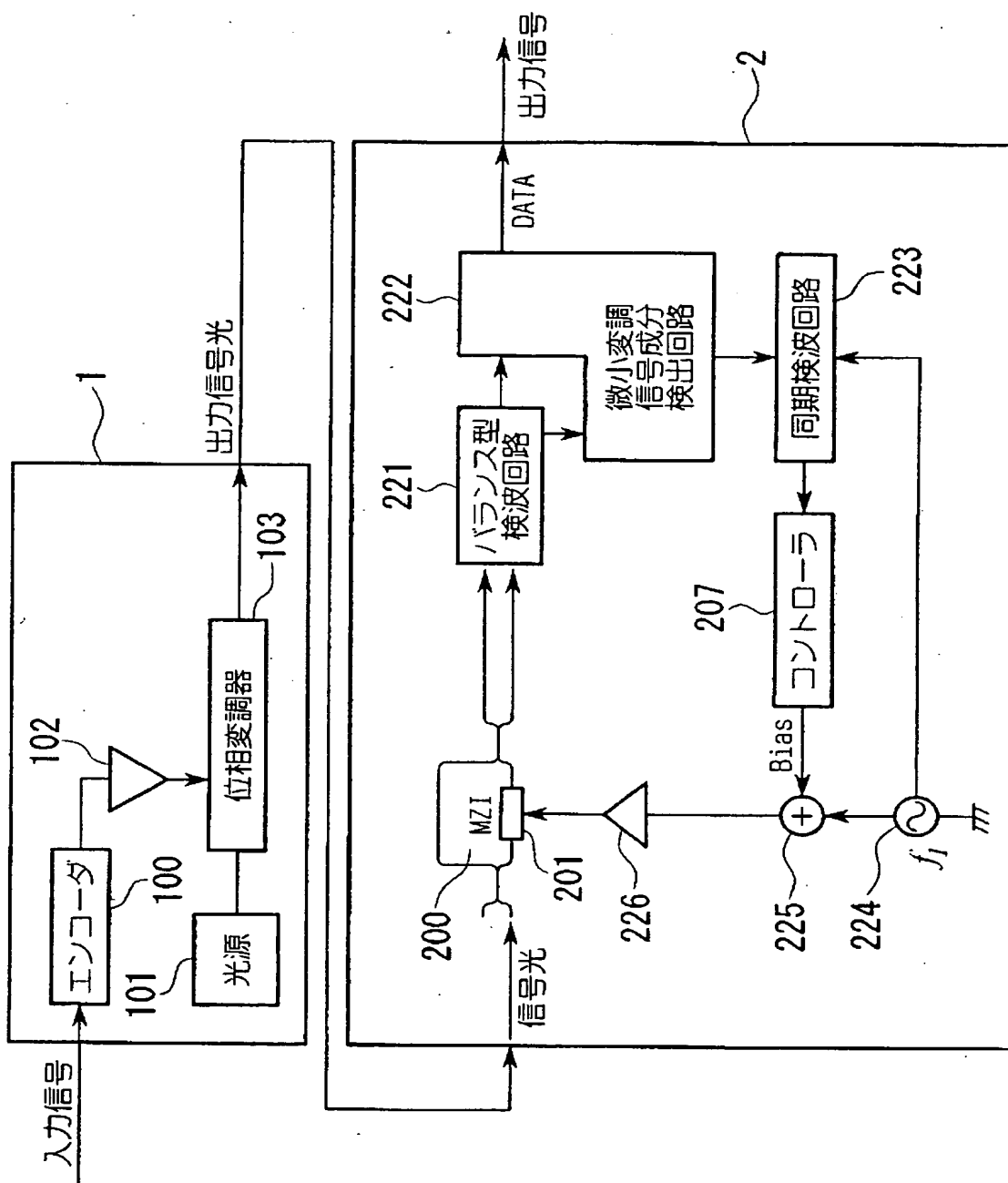
[42] 前記マッハツェンダ干渉計は独立した2つの位相調整端子を具備し、

前記2つの位相調整端子の一方に前記微小変調信号発振回路の出力を印加し、前記2つの位相調整端子の他方に前記制御回路内の帰還誤差信号を印加することを特徴とする請求項25〜39のいずれかに記載の光伝送システムの光受信装置。

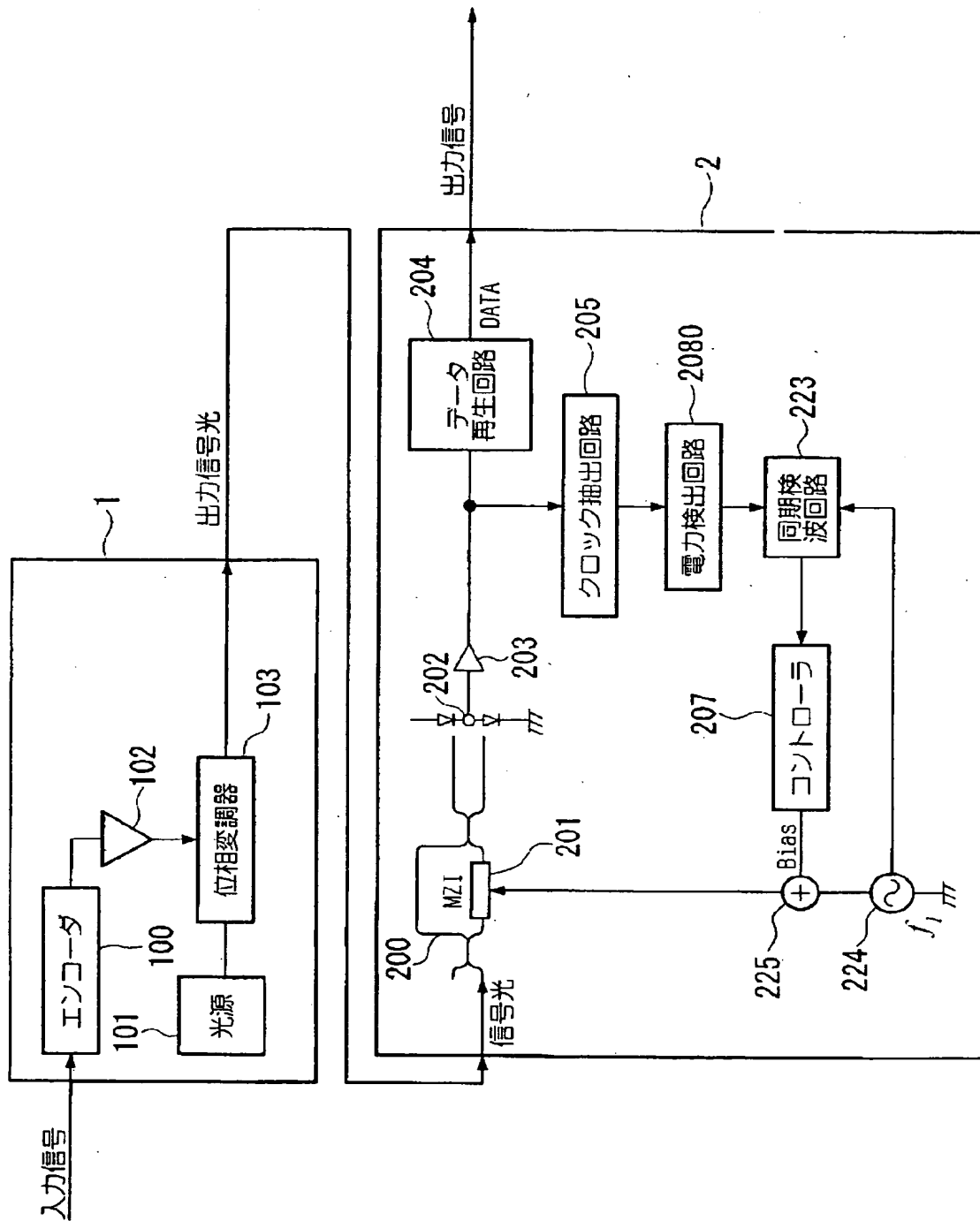
[43] 前記バランス型検波回路により検波された受信信号光から、光キャリア周波数と前記マッハツェンダ干渉計の前記光周波数特性との相対的な位置を検出する光キャリア周波数検出手段と、前記制御回路内の帰還誤差信号にオフセットを与えるオフセット設定回路とを有し、

前記光キャリア周波数の位置と前記マッハツェンダ干渉計の光周波数特性のピークまたはボトムの位置とを合わせるように前記オフセット設定回路のオフセット値を調整することを特徴とする請求項25〜39のいずれかに記載の光伝送システムの光受信装置。

[図1]

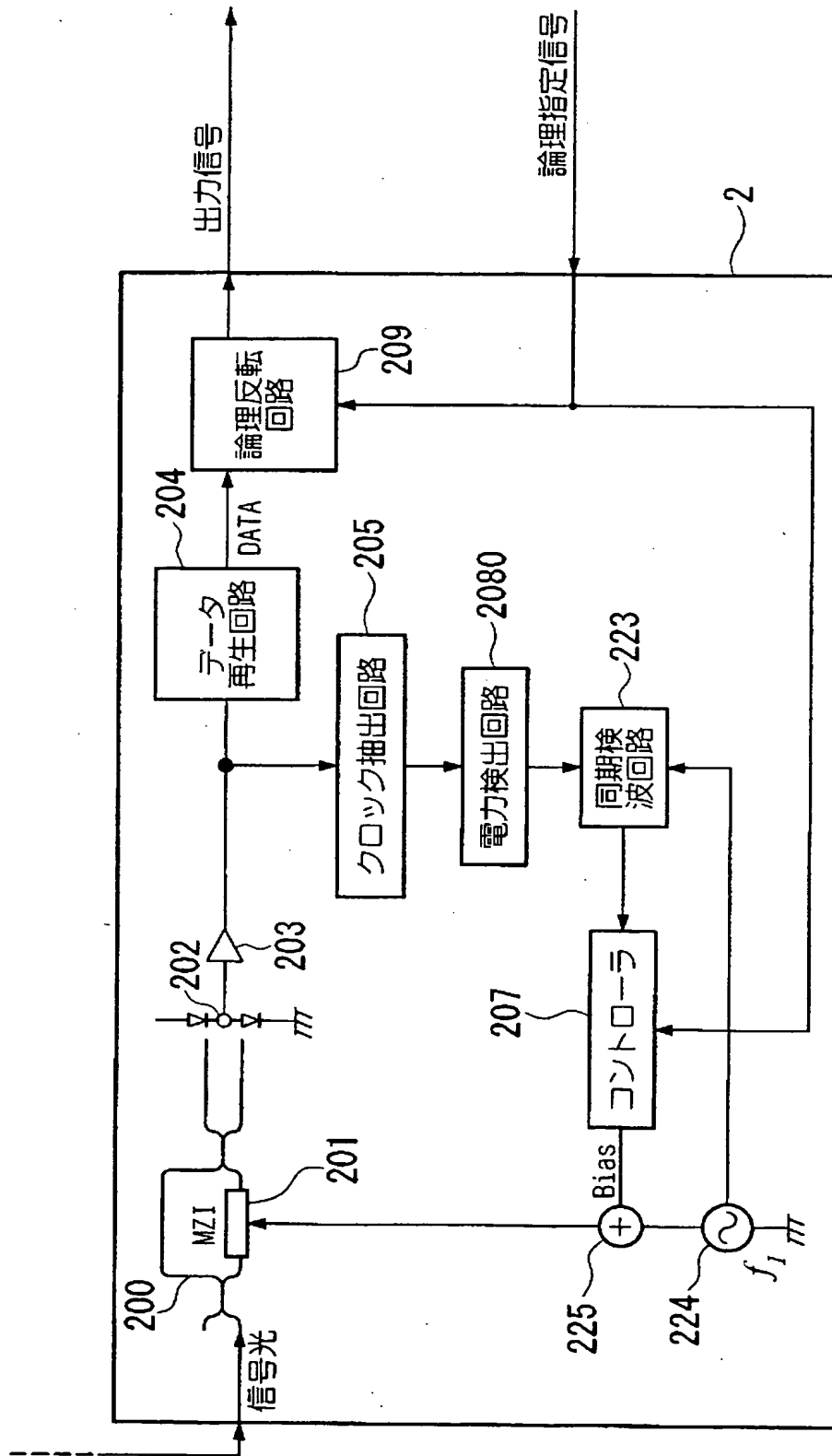


[図2]

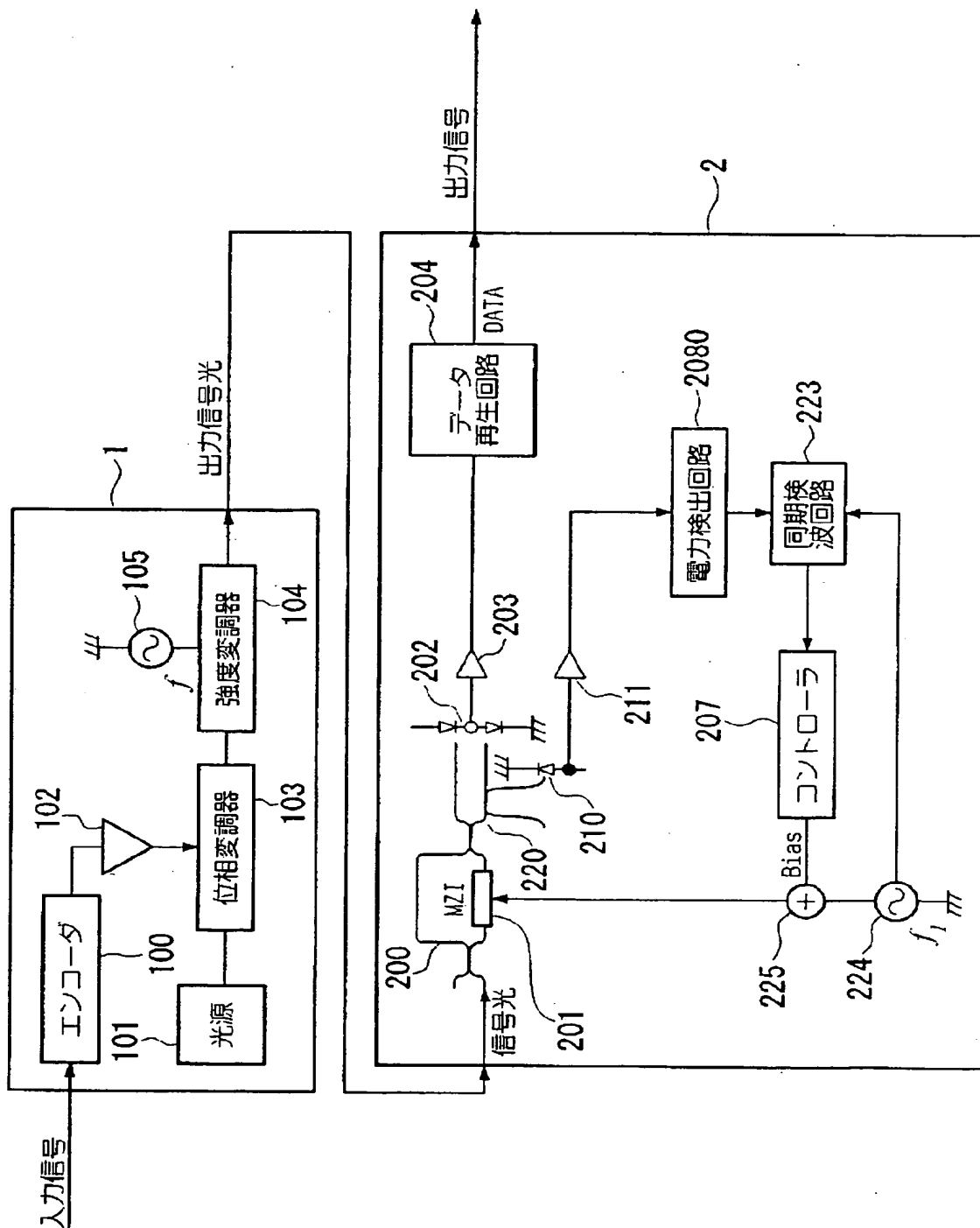




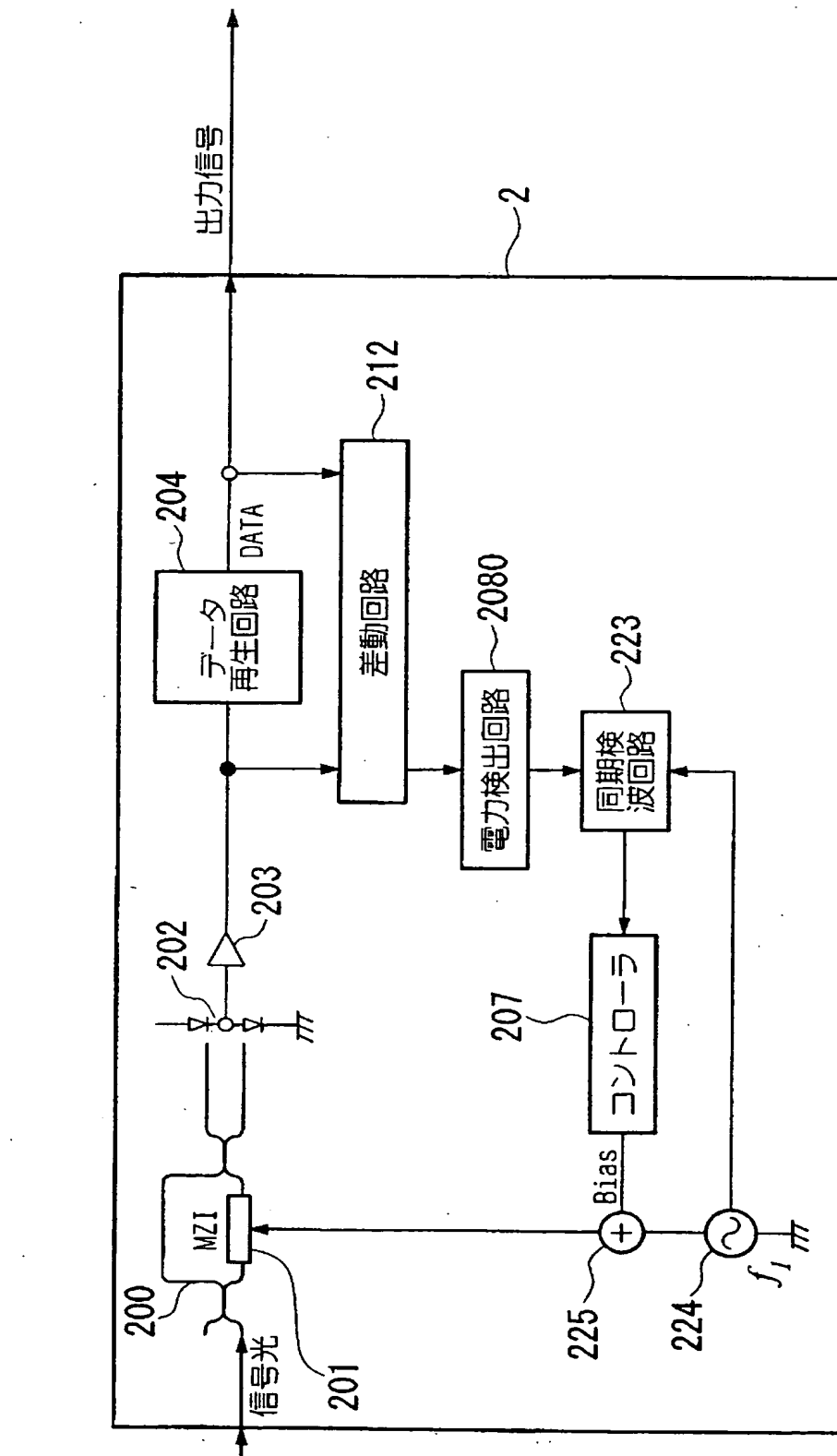
[図3]



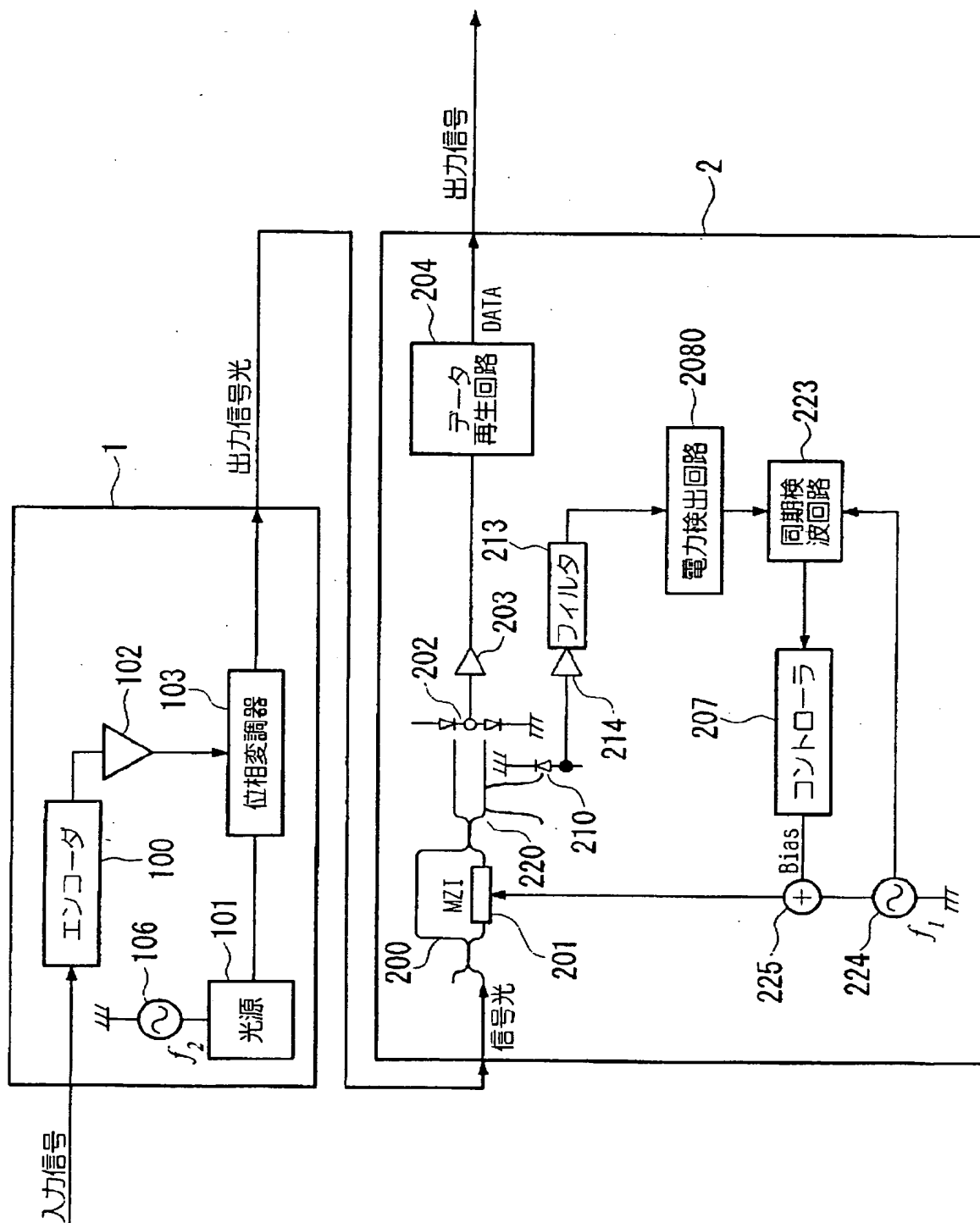
[図4]



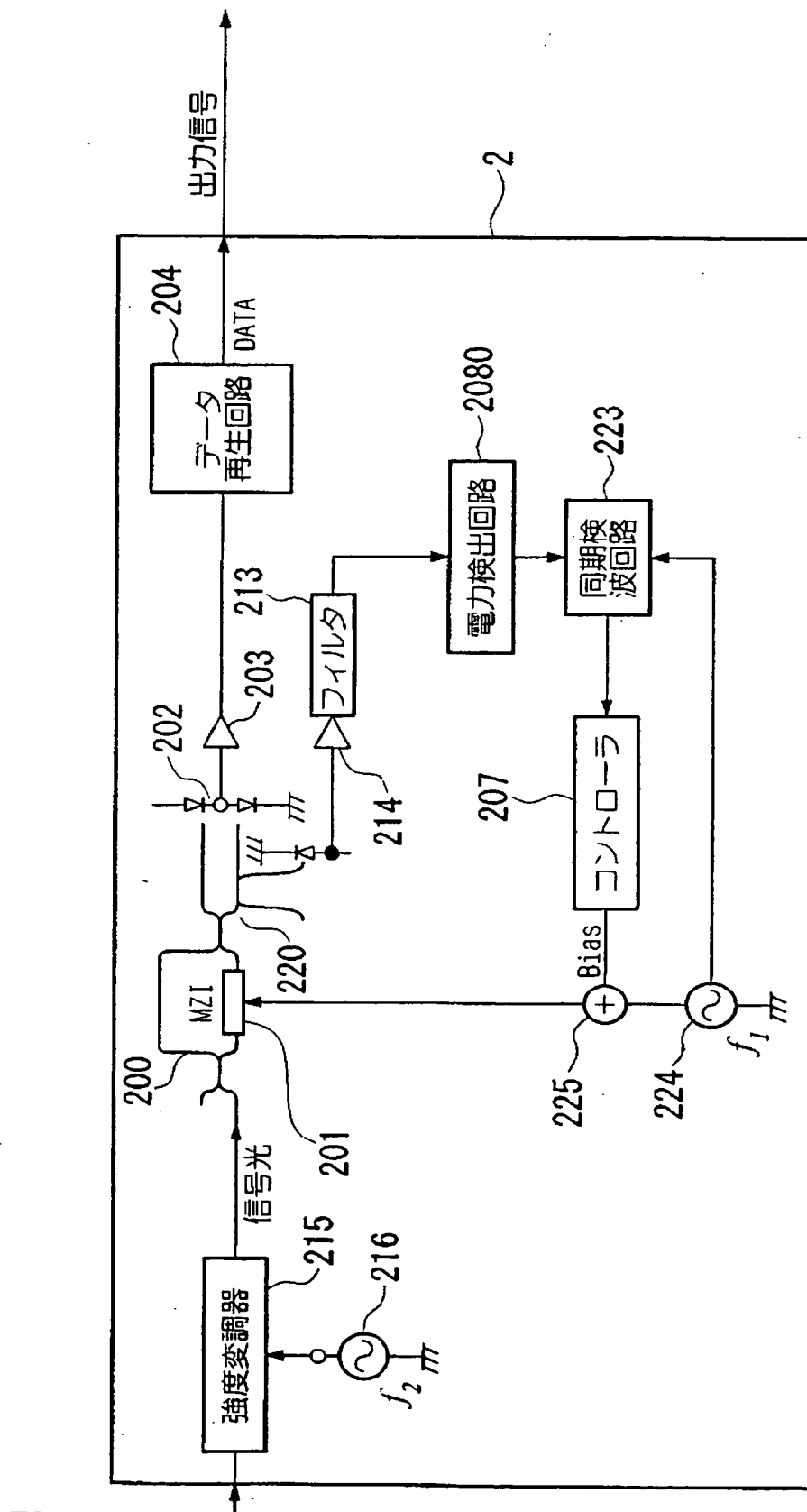
[図5]



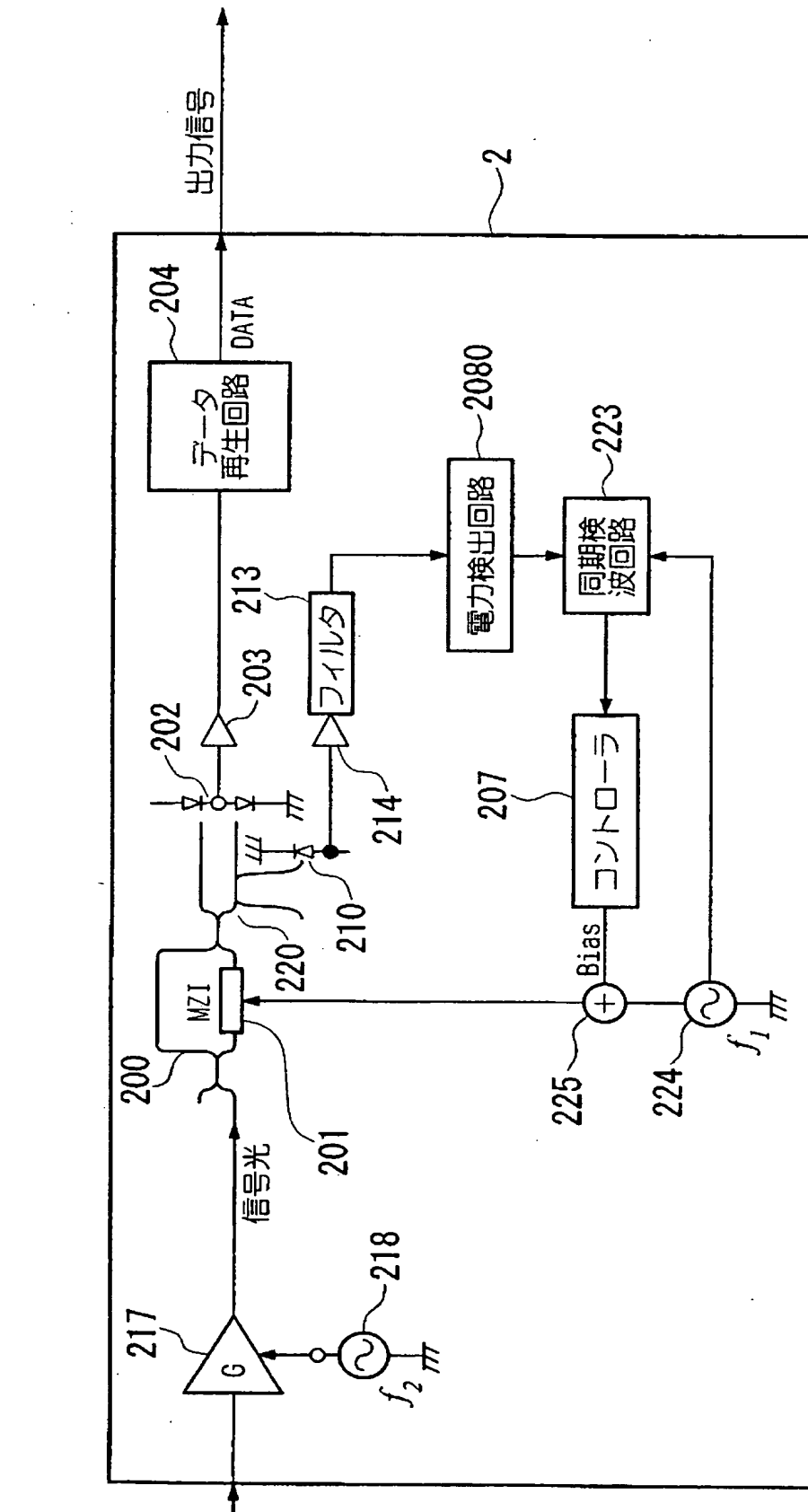
[図6]



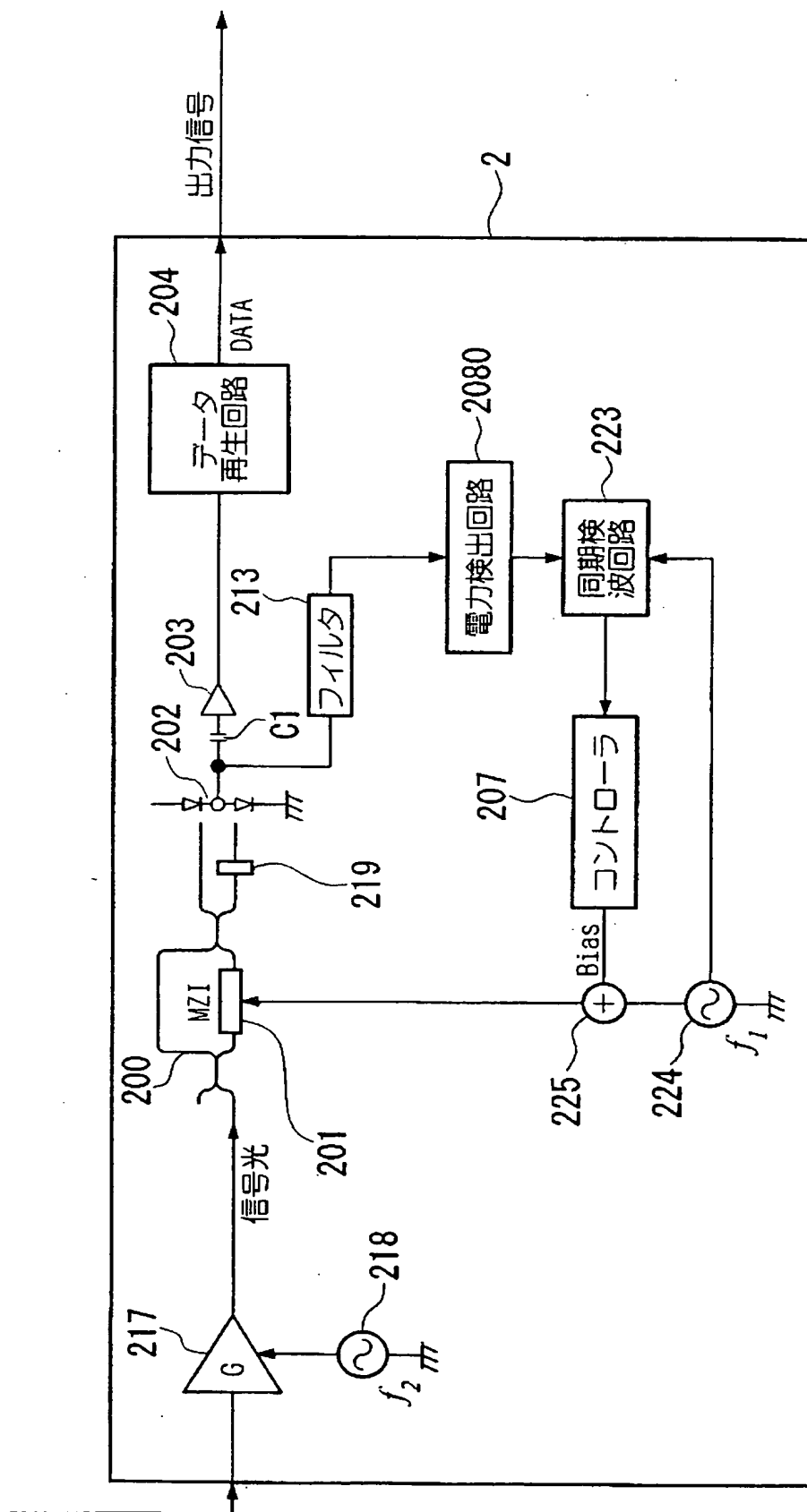
[図7]



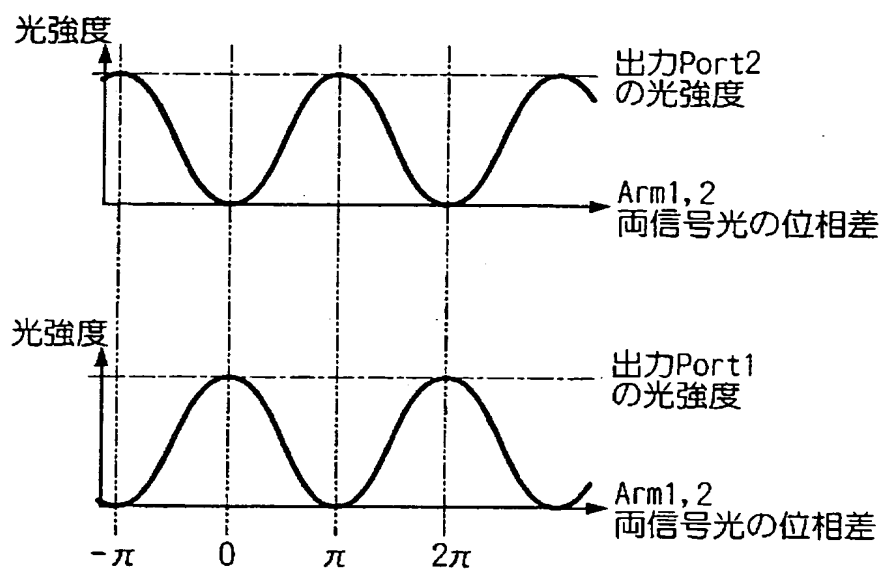
[図8]



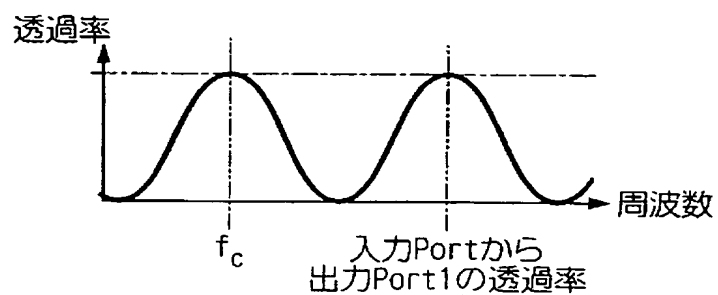
[図9]



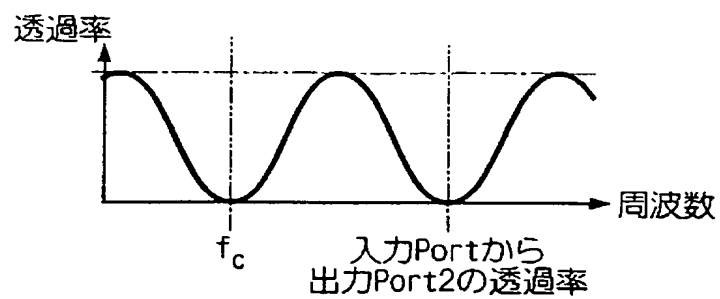
[図10A]



[図10B]

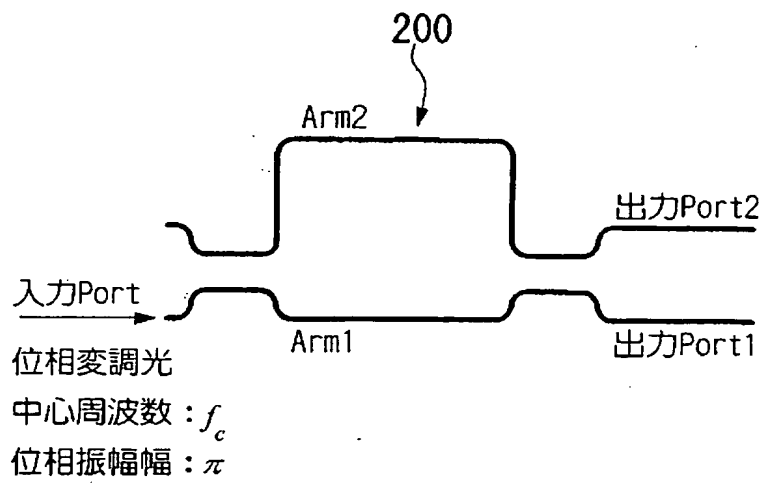


[図10C]

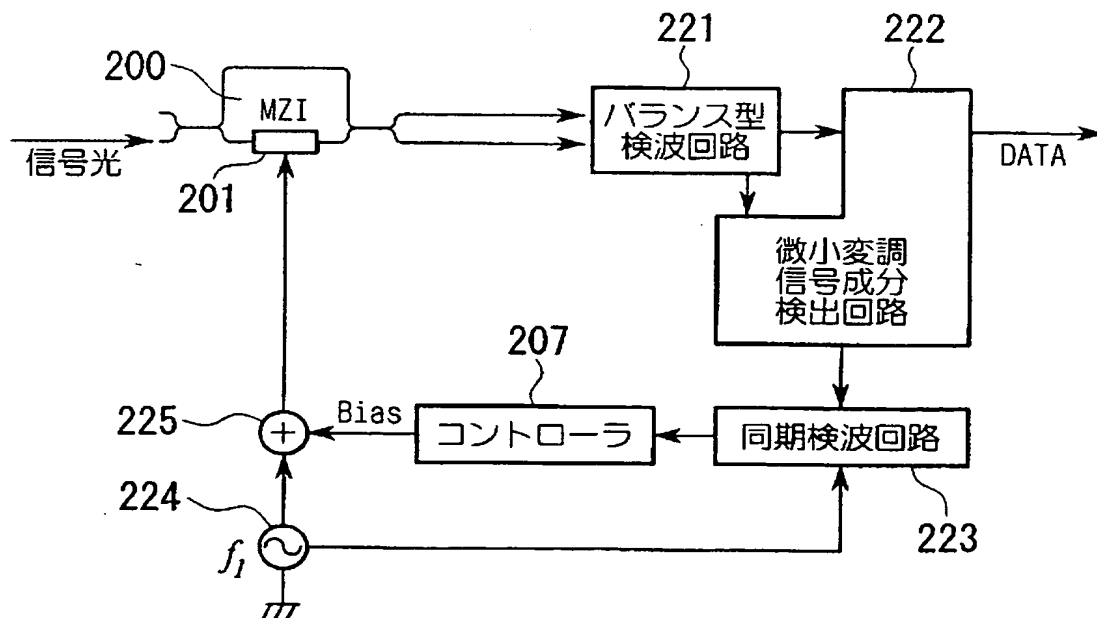




[図10D]

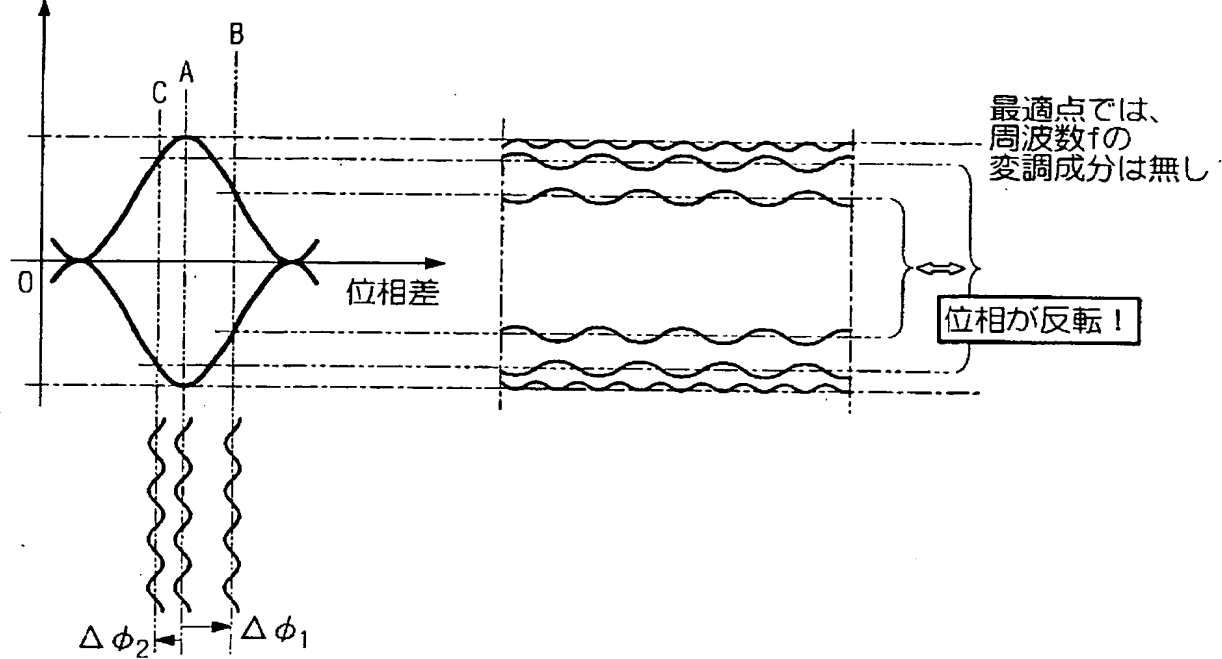


[図11]

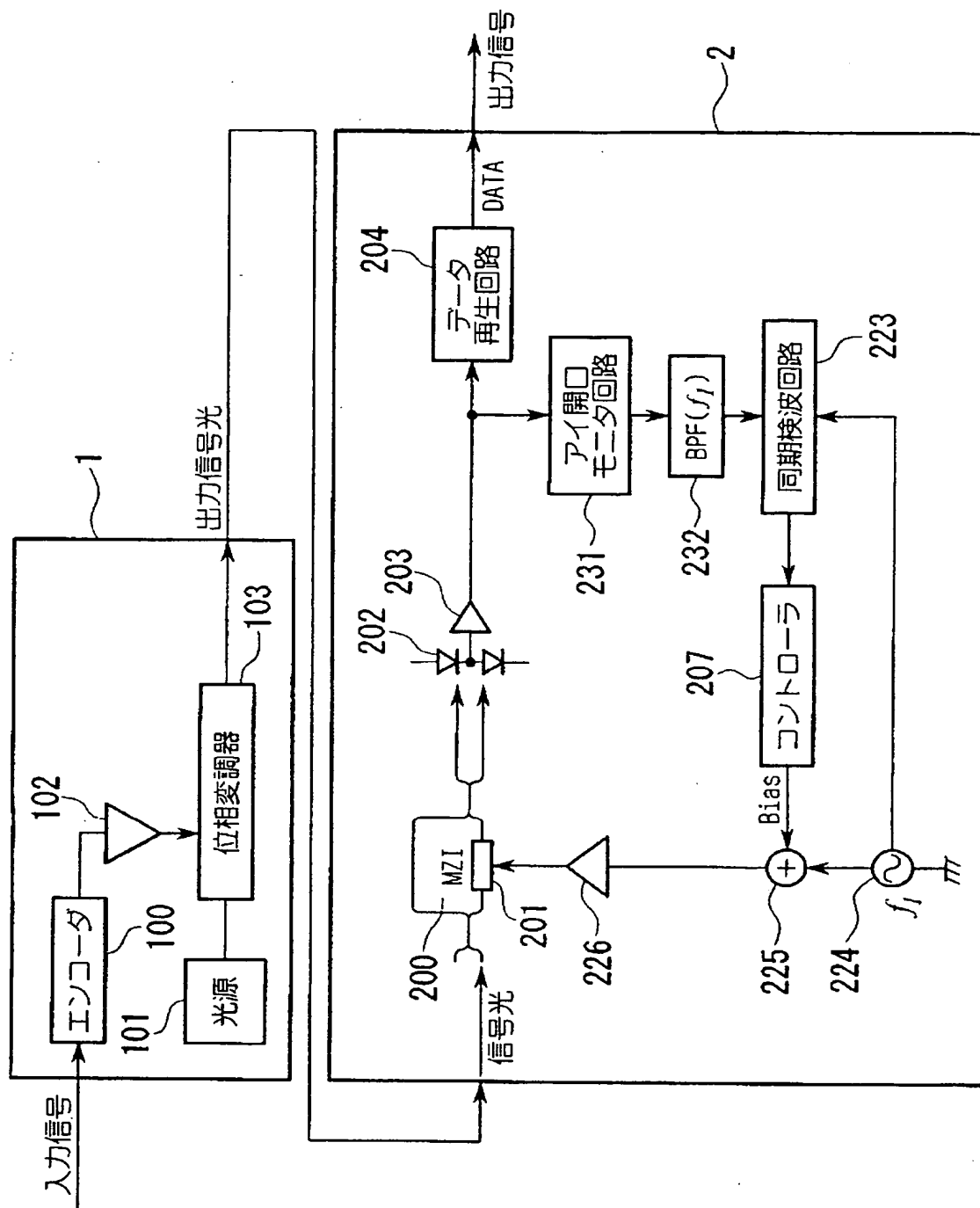


[図12]

バランス型検波回路  
出力電圧

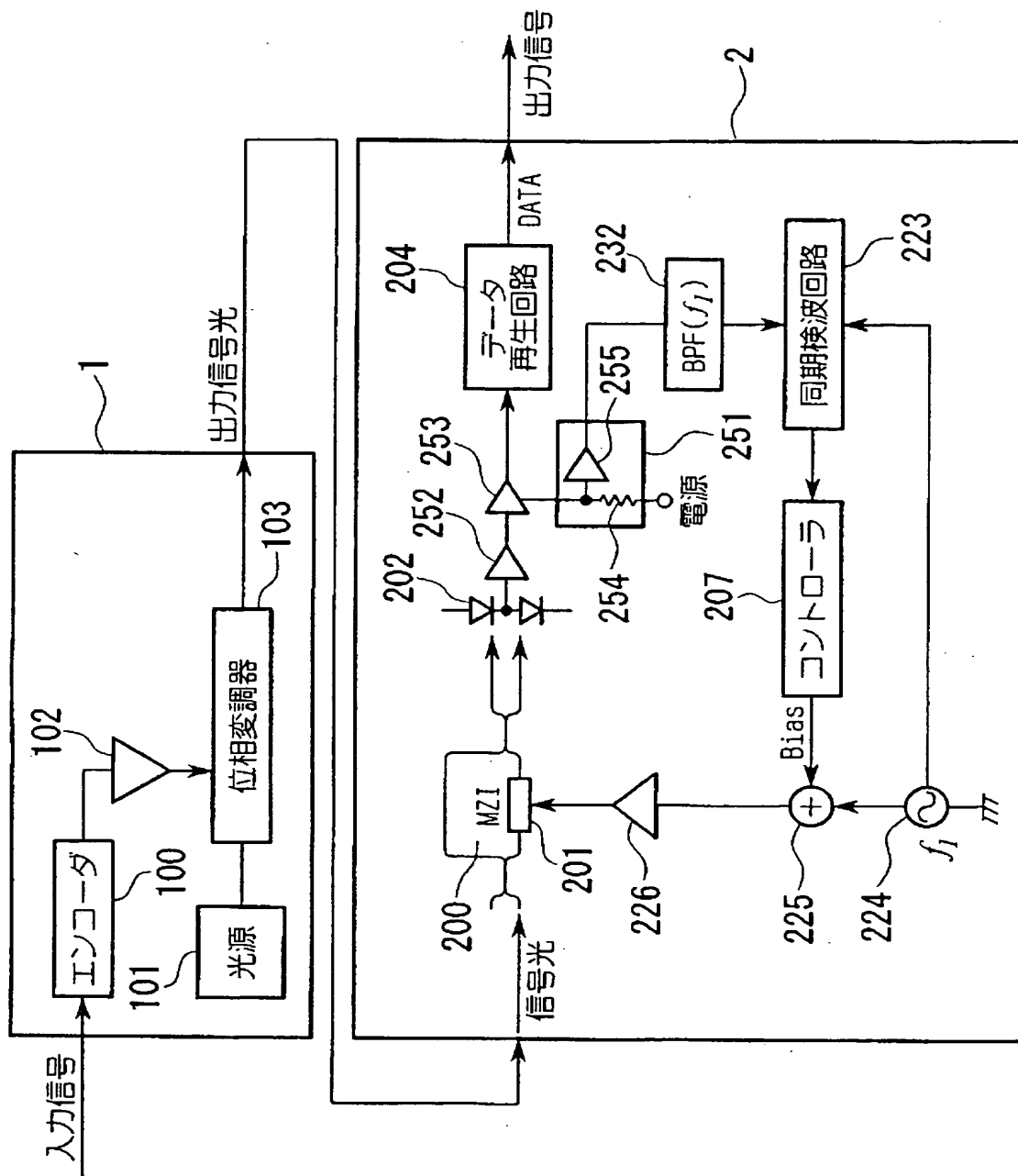


[図13]

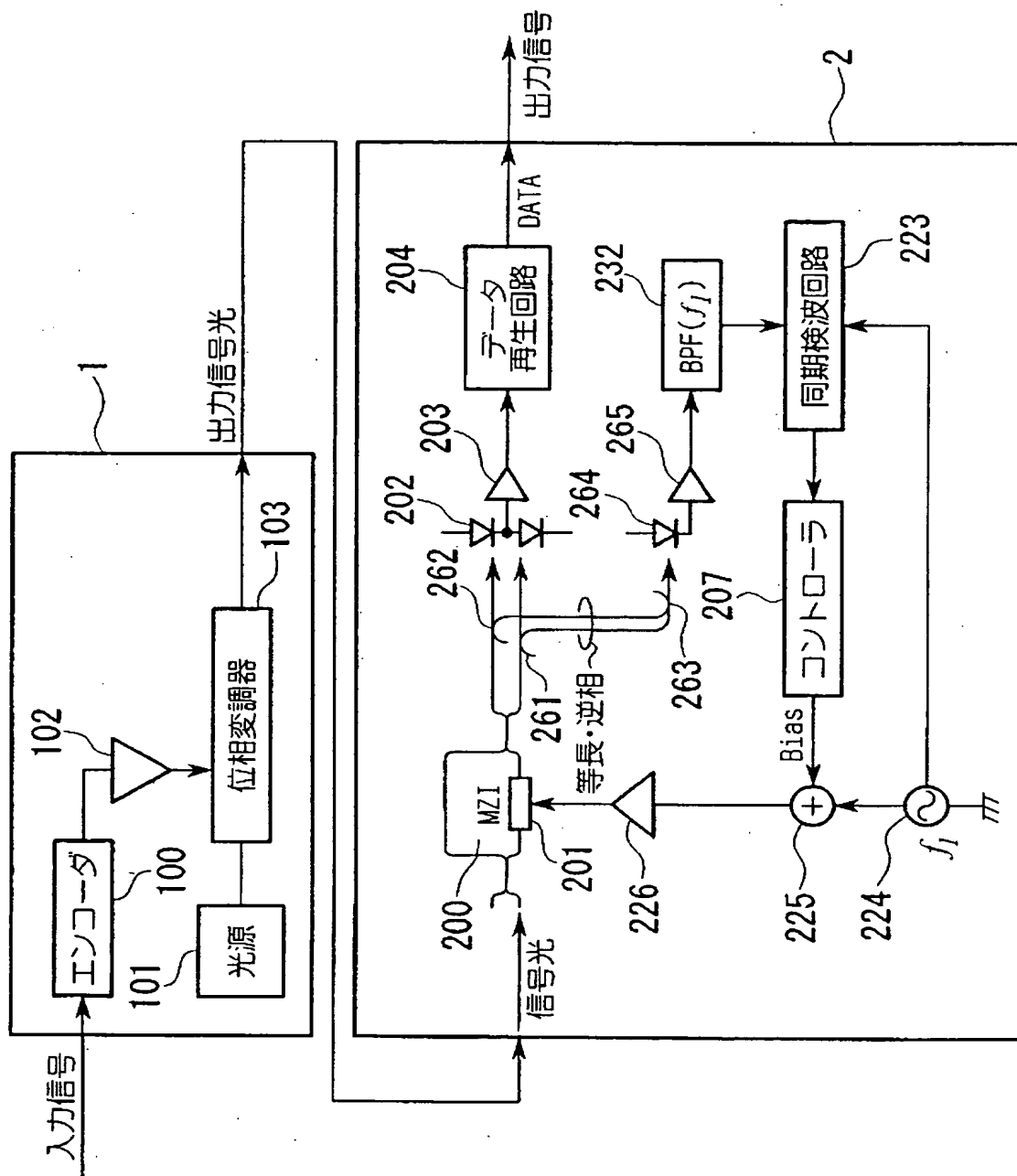




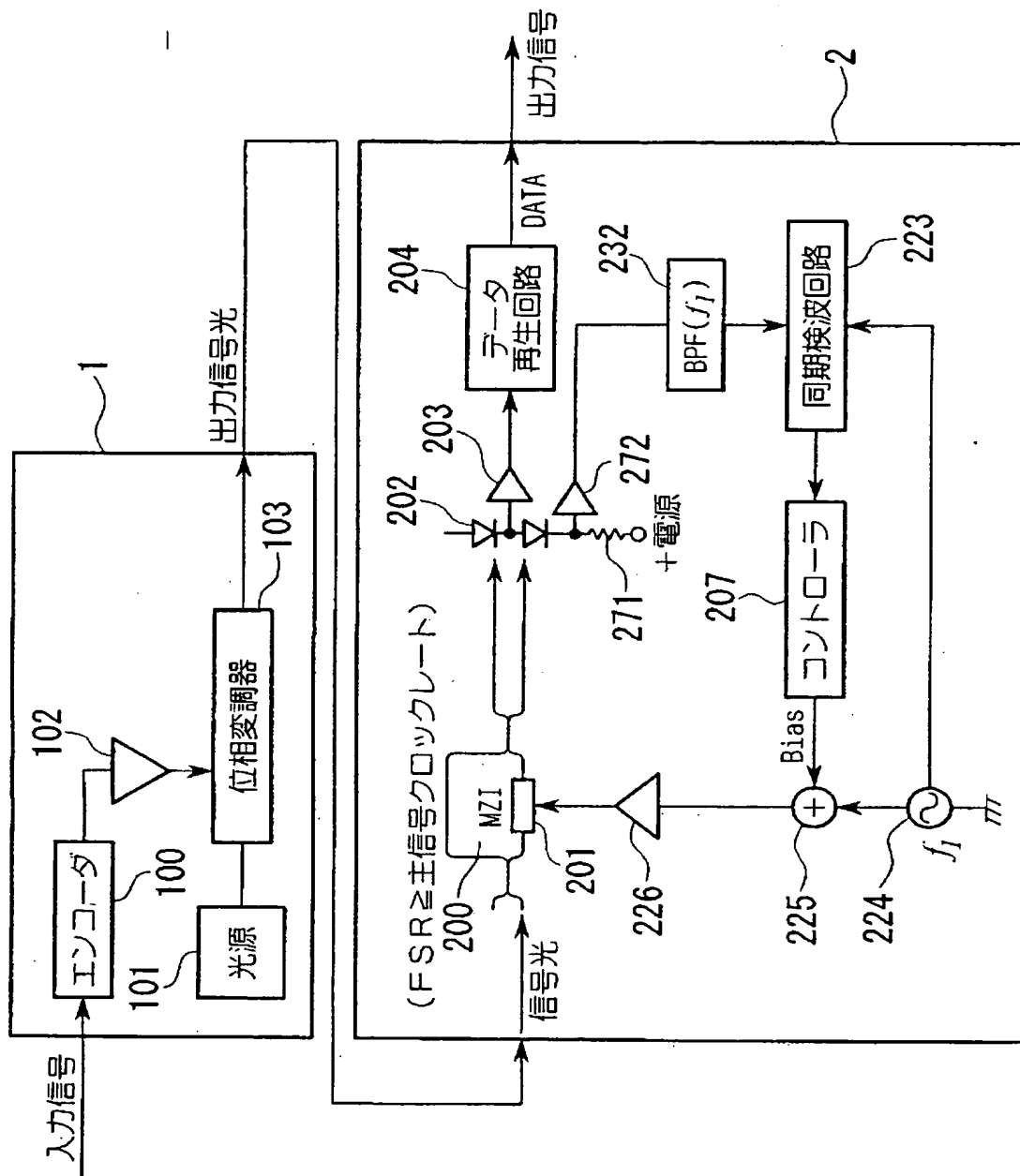
[図15]



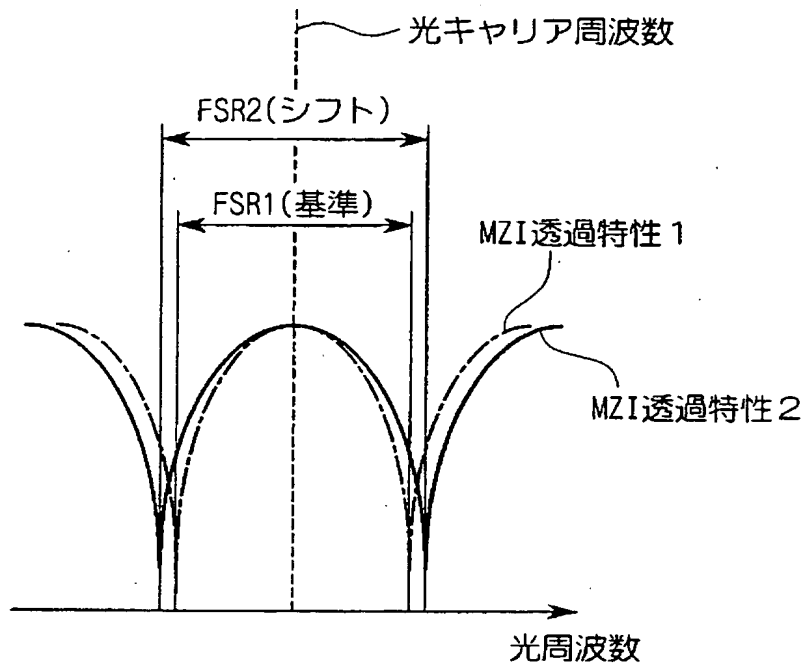
[図16]



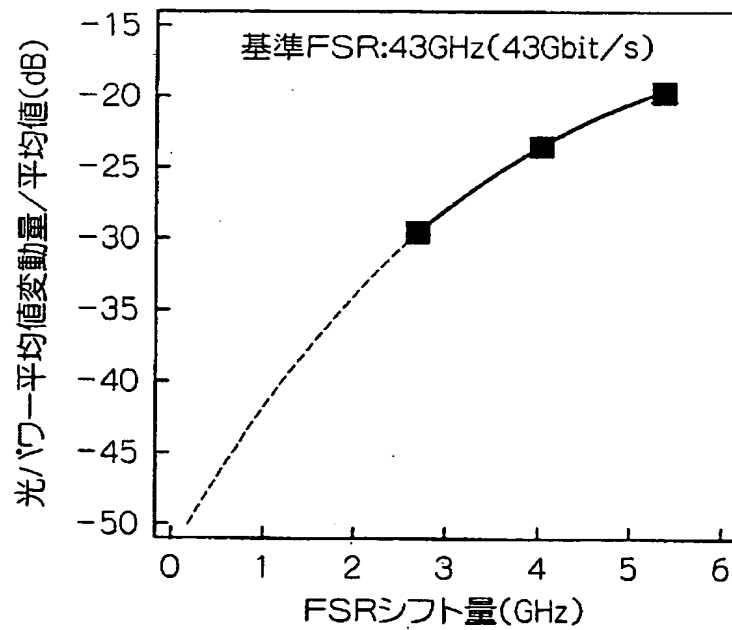
[図17]



[図18]

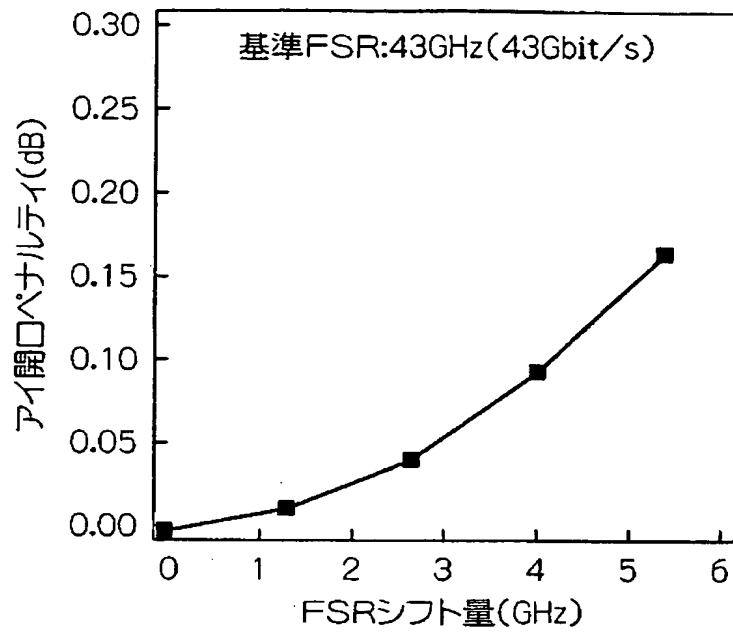


[図19]

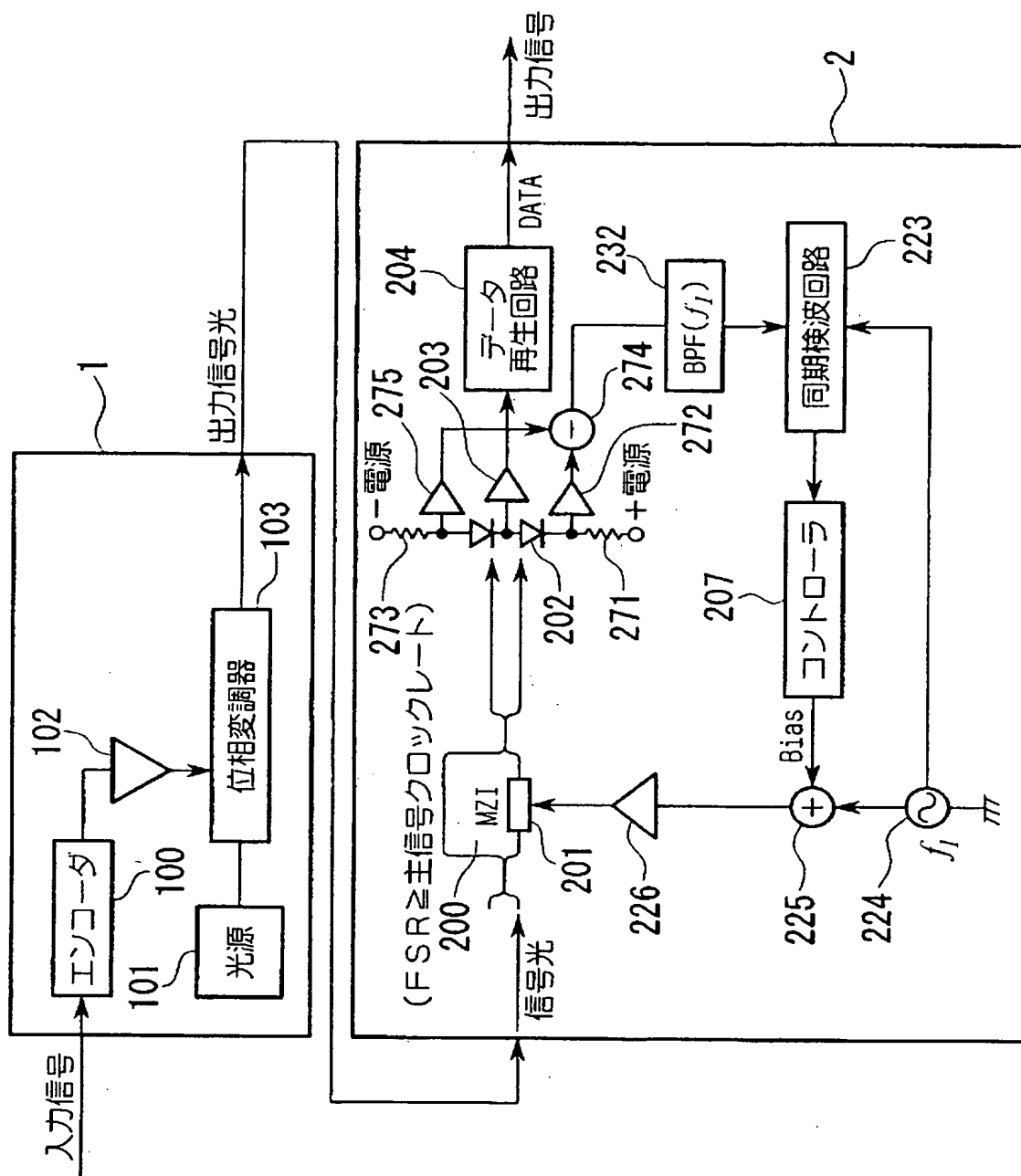




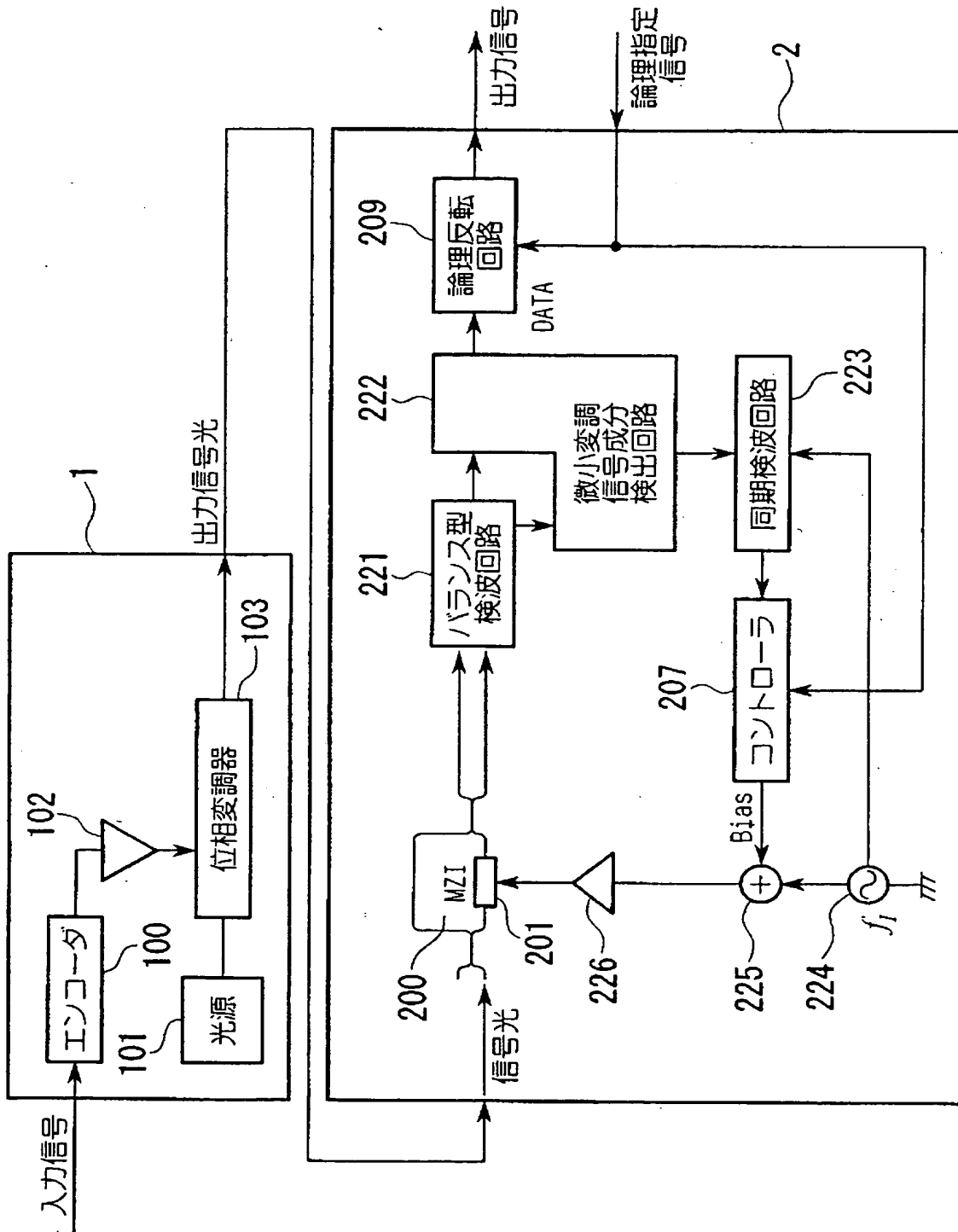
[図20]



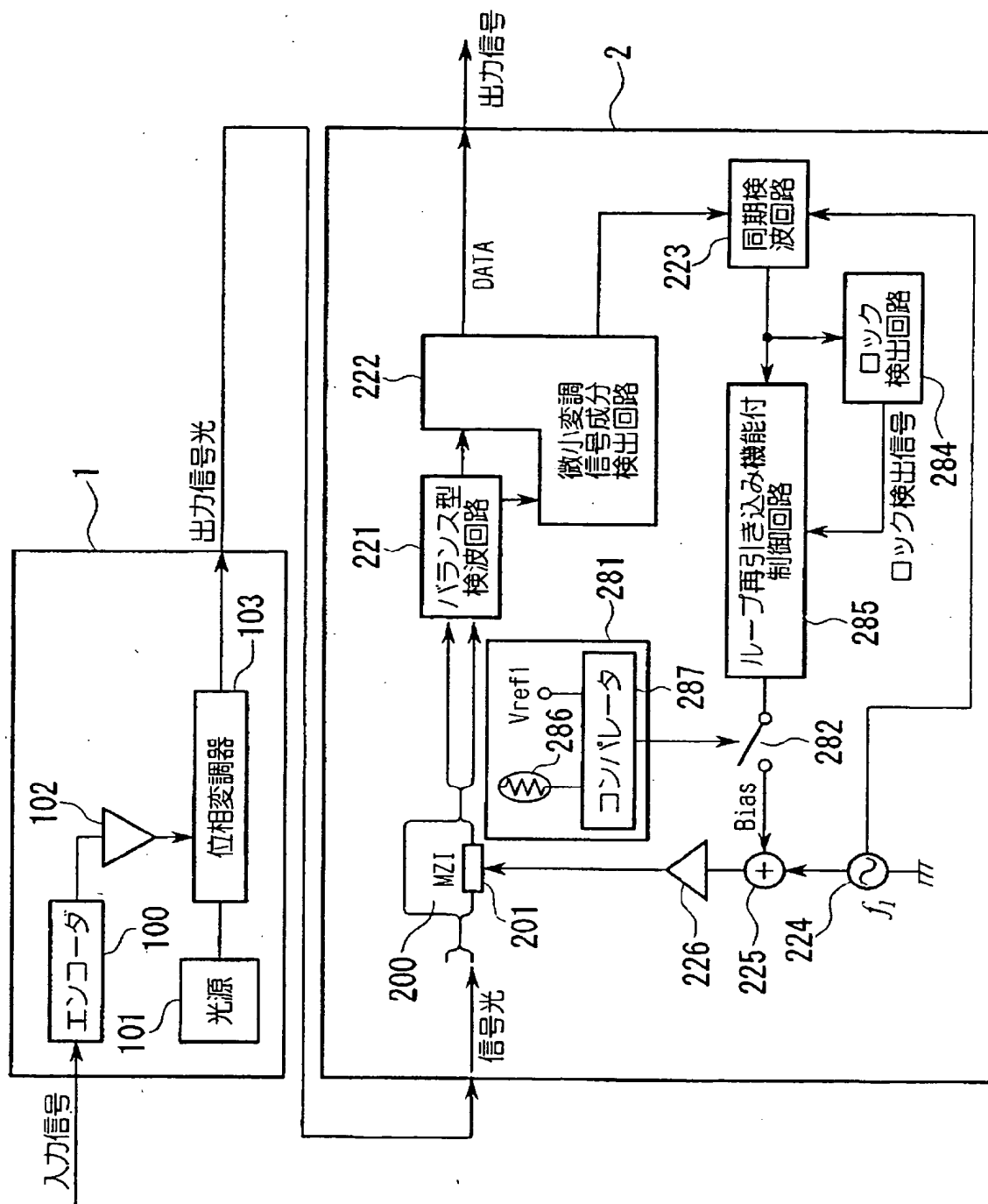
[図21]



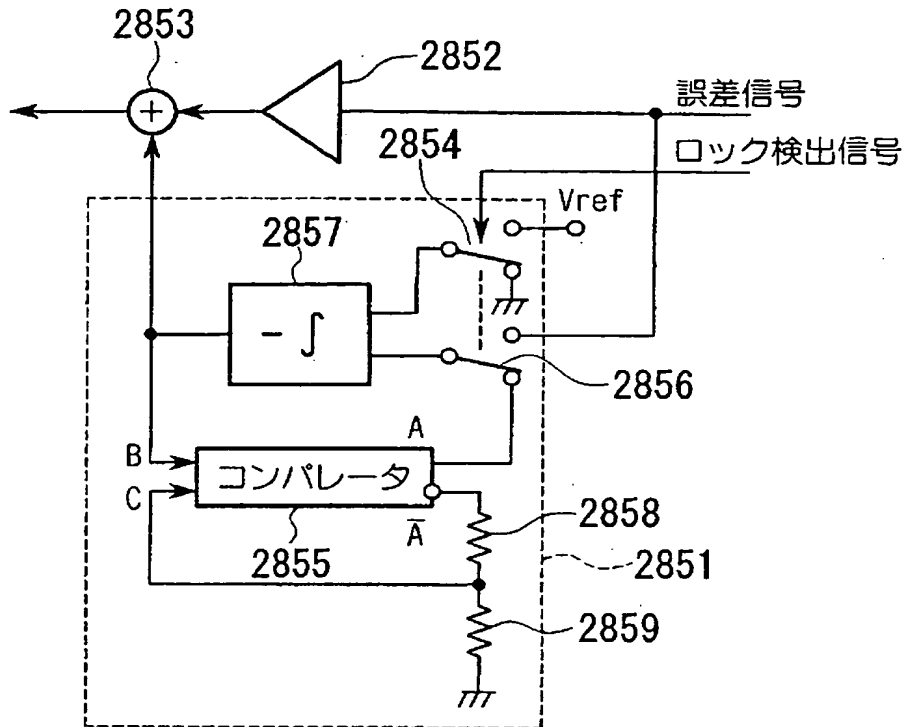
[図22]



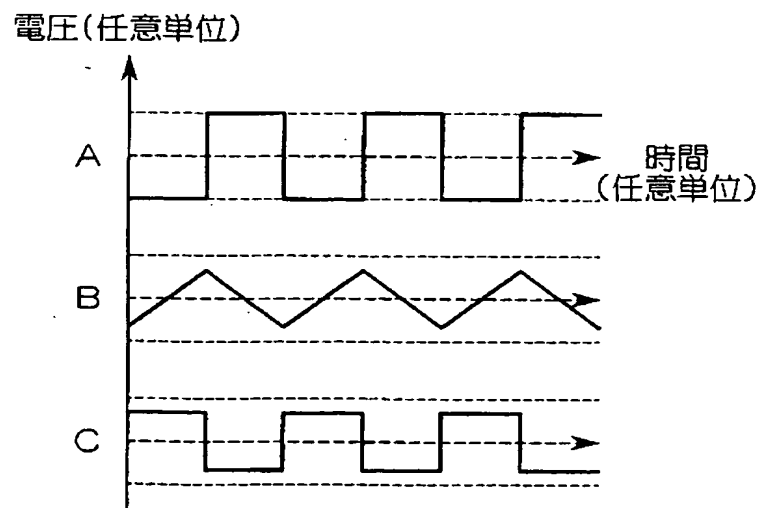
[図23]



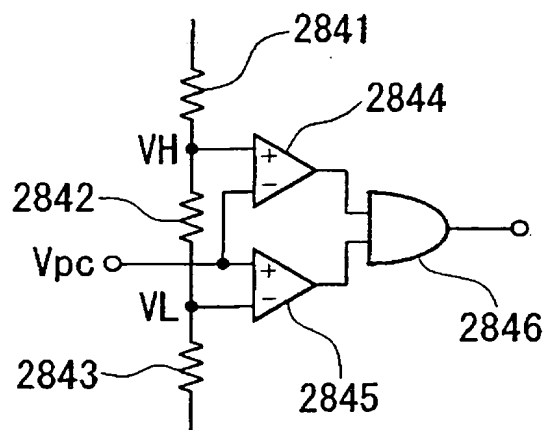
[図24]



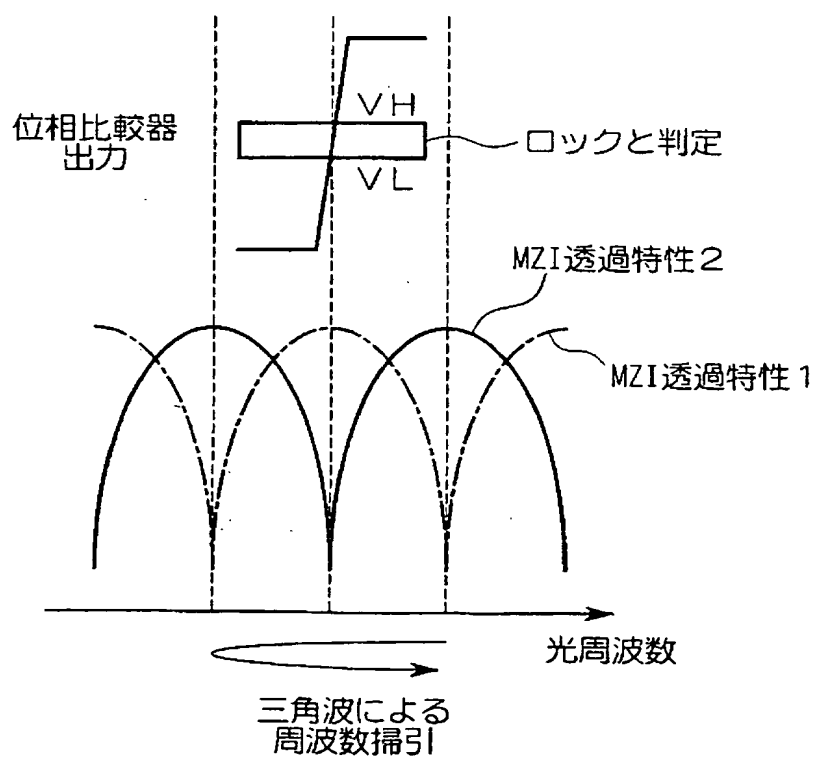
[図25]



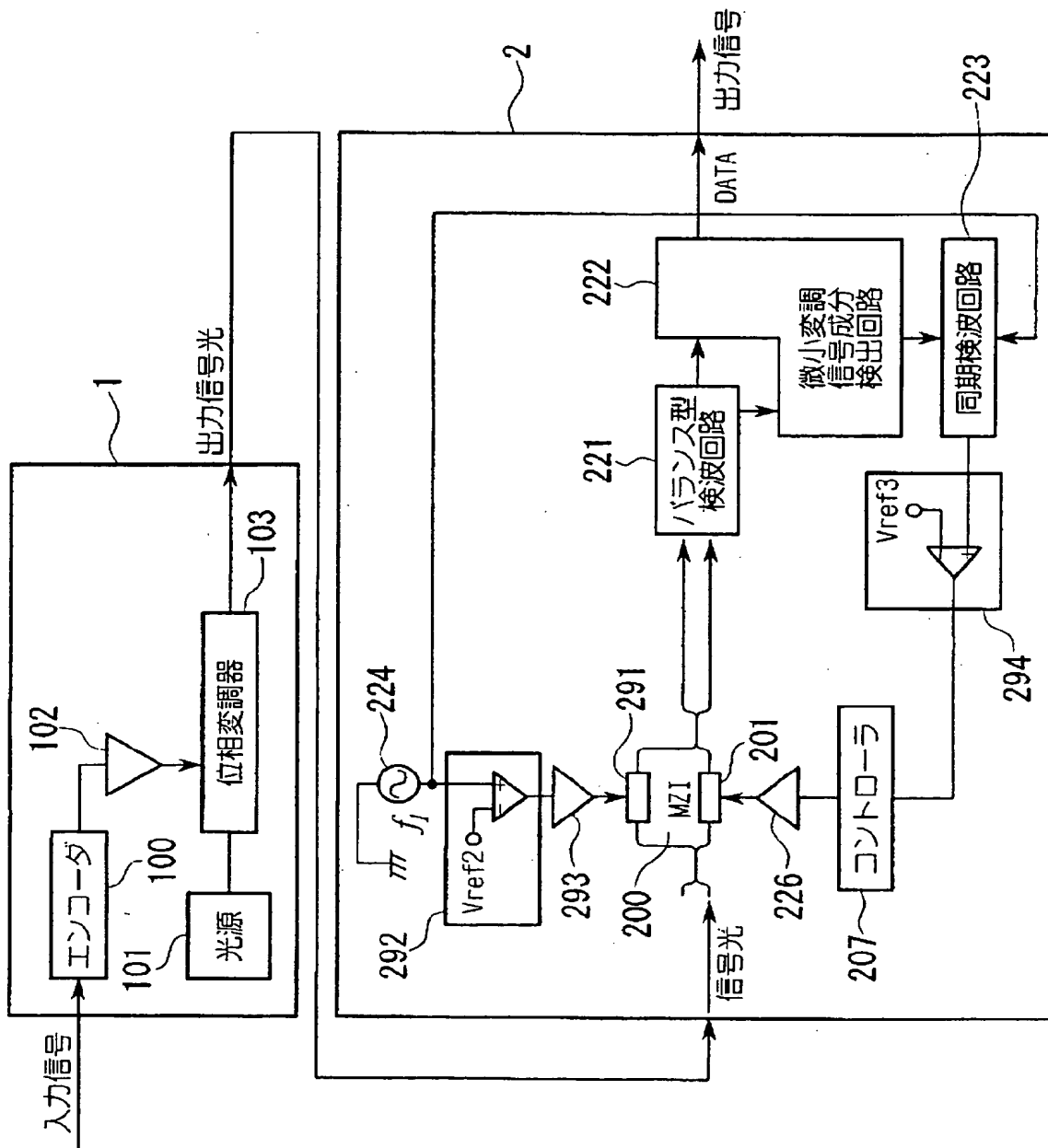
[図26]



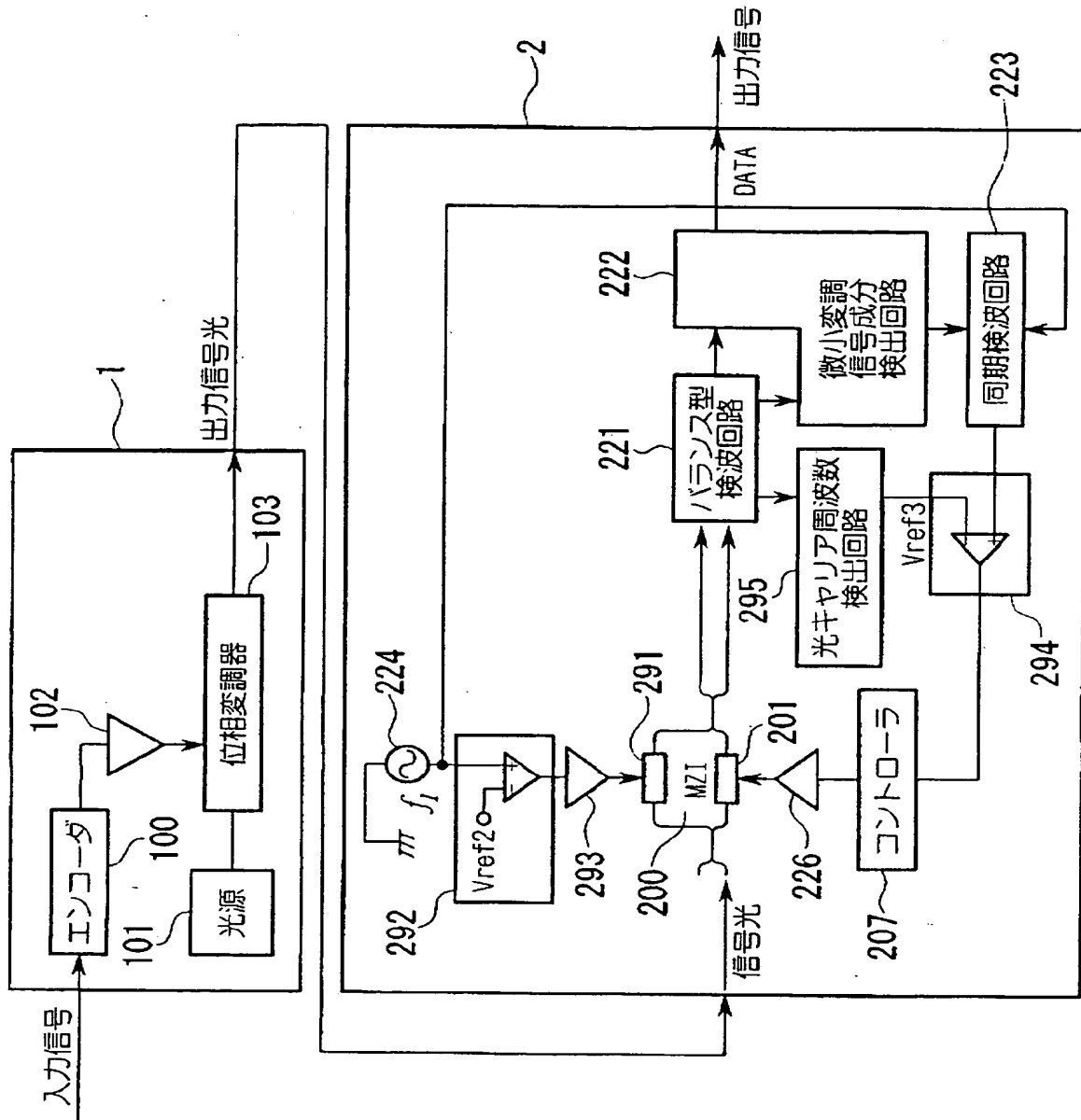
[図27]



[図28]

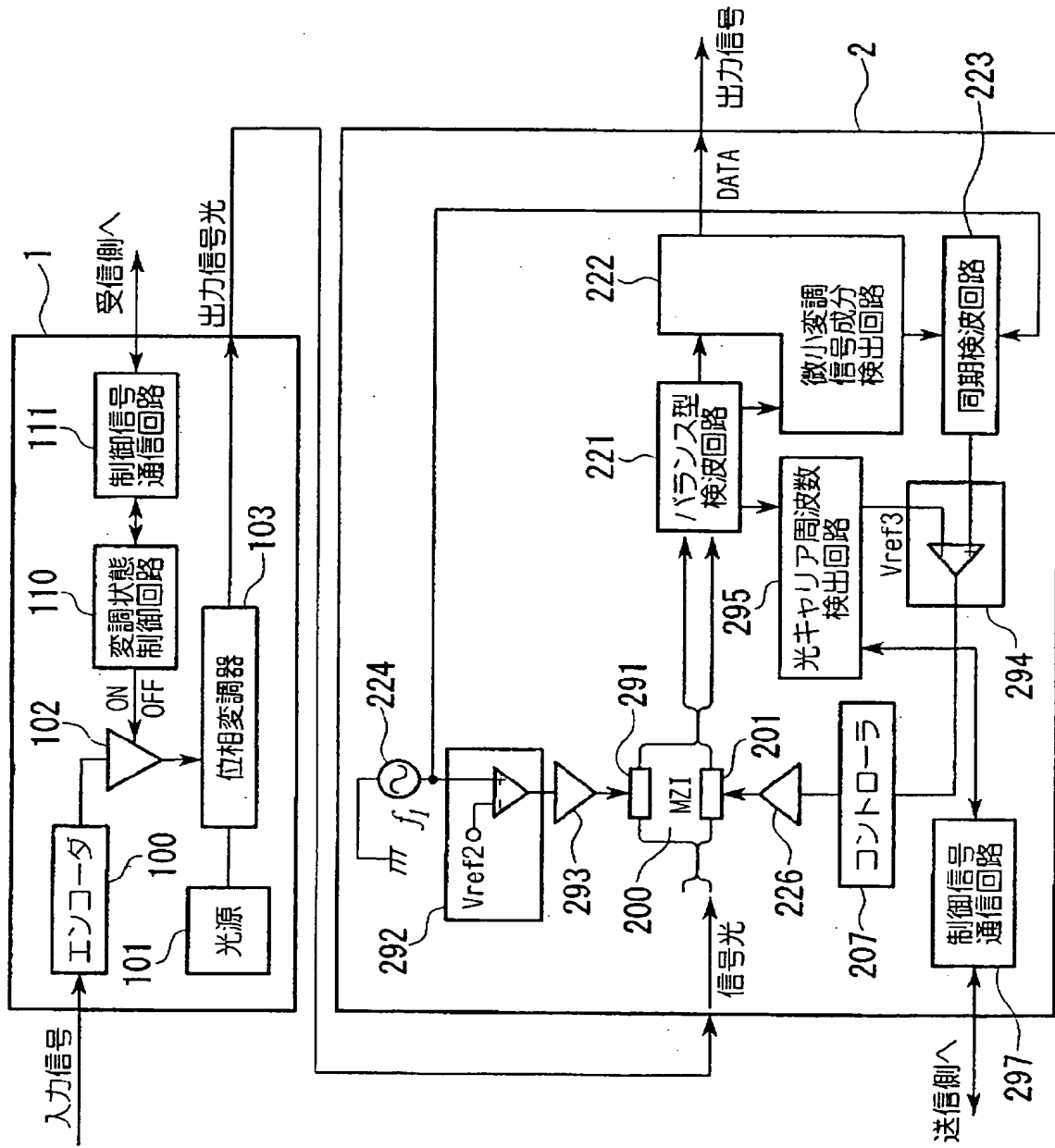


[図29]





[図30]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004817

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H04B10/04, 10/06, 10/142, 10/152

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2003-309520 A (Toshiba Corp.), 31 October, 2003 (31.10.03), Full text; all drawings (Family: none)	1, 23-25 2-22, 26-43
Y	JP 2002-23120 A (Mitsubishi Electric Corp.), 23 January, 2002 (23.01.02), Figs. 2 to 4, 11, 12 & US 2002-0001116 A1 & EP 001168041 A2	2-22, 26-43
Y	JP 2000-59300 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 25 February, 2000 (25.02.00), Figs. 1, 4, 5, 6 (Family: none)	2-22, 26-43

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 June, 2005 (09.06.05)

Date of mailing of the international search report

28 June, 2005 (28.06.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004817

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-251250 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 14 September, 2001 (14.09.01), Figs. 1, 3 (Family: none)	2-22, 26-43

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/04, 10/06, 10/142, 10/152

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/00 - 10/28  
H04J14/00 - 14/08

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 2003-309520 A (株式会社東芝) 2003.10.31, 全文全図 (ファミリーなし)	1, 23-25 2-22, 26-43
Y	J P 2002-23120 A (三菱電機株式会社) 2002.01.23, 図2~4, 11, 12 & US 2002-0001116 A1 & EP 001168041 A2	2-22, 26-43

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.06.2005

国際調査報告の発送日

28.6.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

5 J

9073

前田 典之

電話番号 03-3581-1101 内線 3536

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2 0 0 0 - 5 9 3 0 0 A (日本電信電話株式会社) 2000.02.25, 図1, 4, 5, 6 (ファミリーなし)	2-22, 26-43
Y	J P 2 0 0 1 - 2 5 1 2 5 0 A (日本電信電話株式会社) 2001.09.14, 図1, 3 (ファミリーなし)	2-22, 26-43